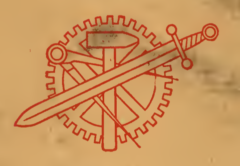
BETRIEBS-TECHNIK

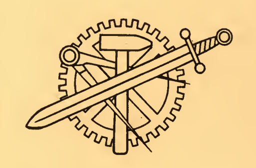
GRUNDLEHRGANG



1. TEIL

8 SOLDATENBRIEFE ZUR BERUFSFÖRDERUNG
AUSGABE B: HANDWERKLICHE UND TECHNISCHE LEHRGÄNGE
NUR FÜR DEN GEBRAUCH INNERHALB DER WEHRMACHT

BETRIEBS-
TECHNIK
GRUNDLEHRGANG



1. TEIL.

SOLDATENBRIEFE ZUR BERUFSFÖRDERUNG
AUSGABE B: HANDWERKLICHE UND TECHNISCHE LEHRGÄNGE

Im Auftrage des Oberkommandos der Wehrmacht
hergestellt durch den
Verlag Ferdinand Hirt, Breslau/Leipzig

Vorwort

Kameraden! Der Aufforderung, Arbeitsgemeinschaften zu bilden, in denen das geschriebene Wort der „Soldatenbriefe zur Berufsförderung" durch persönlichen Gedankenaustausch vertieft und ergänzt werden soll, ist in immer steigendem Maße Folge geleistet worden. Zur Erleichterung dieser Gemeinschaftsarbeit ist der erste Teil folgender Lehrgänge in je einem Band vereinigt worden:

Ausgabe A: Kaufmännische Lehrgänge:
Grundlehrgang, Allgemeiner Aufbaulehrgang,
Aufbaulehrgang für den Einzelhandelskaufmann.

Ausgabe B: Handwerkliche und technische Lehrgänge:
Die Grundlehrgänge: Bautechnik; Metallbearbeitung; Elektrotechnik; Kraftfahrtechnik; Betriebstechnik.
Die Aufbaulehrgänge: Weg zur Ingenieurschule; Weg zur Bauschule.

Ausgabe C: Landwirtschaftliche Lehrgänge: Grundlehrgang.

Ausgabe D: Allgemeinbildende Lehrgänge:
Grundlehrgang; Aufbaulehrgang. Die Sonderlehrgänge: Der Westen, Der Norden, Der Osten.

Der vorliegende Zusammendruck (1. Teil) stellt nicht nur eine gebundene Ausgabe der einzelnen Briefe dar, sondern ist die Zusammenfassung der verschiedenen Wissensgebiete zu Abschnitten. Dadurch ist eine Übersichtlichkeit erzielt, die besonders den Arbeitsgemeinschaften gute Dienste leisten wird.

Zur Unterstützung bei den Arbeiten erleichtert ein Inhaltsverzeichnis das Auffinden der einzelnen Stoffgebiete. Die Lösungen der Übungsaufgaben stehen geschlossen am Schluß des Bandes.

Diejenigen, die sich mit einzelnen Gebieten eingehender beschäftigen wollen, finden am Schluß einen kurzen Büchernachweis. Er bringt Fachbücher, die nach Inhalt, Umfang und Preis für den Soldaten geeignet sind.

Die Einheiten erhalten auf dem Dienstwege je 2 Bände für ihre Truppenbüchereien.

Die unmittelbare Belieferung an einzelne Wehrmachtangehörige erfolgt nur durch den Verlag Ferdinand Hirt, Leipzig C 1, Salomonstr. 15, gegen Voreinsendung von 1 RM. je Band einschließlich —,20 RM. Porto. Zahlung ausschließlich auf Postscheckkonto Leipzig Nr. 9418.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 3

Fachkunde 9

Von den Dampfkesseln 9

Allgemeines 9

Die wichtigsten Bauarten der Dampfkessel 12

Großwasserraumkessel 14

Beurteilung und Abmessungen der Großwasserraumkessel 15

Kleinwasserraumkessel 17

Heizröhrenkessel 17

Schrägrohrkessel 18

Steilrohrkessel 22

Höchstdruckkessel 25

Von den Feuerungen 29

Allgemeines 29

Die Planrostfeuerung 32

Schrägrostfeuerungen 35

Wanderrostfeuerungen 38

Kohlenstaubfeuerungen 42

Ölfeuerungen 46

Aus der Werkstoffkunde 50

Eisenerz, Roheisen, technisch verwertbares Eisen 50

Von den Eisenerzen 51

Vom Roheisen zum Stahl 55

Vom Rohstahl zu den Walzwerkerzeugnissen 58

Vom Gußeisen 61

Vom Formen und Gießen 64

Technisches Rechnen 70

Das Berechnen des Inhalts von Flächen 70

Das Berechnen des Inhalts von Körpern 75

Buchstabenrechnen 83

Gleichungen 84

Potenzen 92

Wurzeln 93

Praktische Anwendungen von Potenz und Wurzel 95

Tabellenrechnen 98

Profilstähle (Profileisen) 104
Proportionen 107
Mathematische Zeichen 110
Einfache Festigkeitsberechnungen 111
Positive und negative Zahlen 114
Zur Wiederholung 117

Aus der Naturlehre 122
Gewicht und Wichte 122
Arbeit und Leistung 125
Der elektrische Strom 127
Die elektrische Spannung 128
Die Sicherungen 130
Die große Elektrizitätsrechnung 133
Großkraftwerke 134
Vom Wasser 136
Von der mechanischen Energie 139
Von der Gleichwertigkeit der mechanischen Arbeit und Wärme . . . 142
Der Wirkungsgrad 145
Von der Ausdehnung der Körper durch die Wärme 146
Von der Raumausdehnung der Körper durch die Wärme 149
Von der Ausdehnung der Gase durch die Wärme 150
Vom Luftdruck 152
Überdruck, Unterdruck, absoluter Druck 155
Von den Barometern 157
Von den Manometern 159
Übungsbeispiele zur Wiederholung 162

Technisches Zeichnen 165
A Technische Grundnormen 165
Allgemeine Gesichtspunkte 165
Normschrift 166
Zeichenwerkzeug 168
Blattgrößen und Maßstäbe 169
Linien und Maße 171
Maßzahlen, Mittellinien und unsichtbare Körperkanten 172
Körperliche und perspektivische Darstellung 174
Technische Darstellung und Anordnung der drei Ansichten 177
Darstellung von runden Körpern 183
Maßeintragung bei runden und quadratischen Körpern 187
Schnittdarstellung 193

Teile, die nicht geschnitten werden 197
Teilschnitt, Halbschnitt-Halbansicht, Schnittverlauf und Bruchlinie 202
Hilfskonstruktionen beim Zeichnen 207

B Von den Maschinenteilen 209
Gewinde und Gewindedarstellung 209
Schrauben und Schraubenverbindungen 213

C Werkzeichnungen 221
Zeichnerische Darstellung von Einzelteilen einer Bohrvorrichtung . . 221
Zeichnerische Darstellung einzelner Bauteile einer Abziehvorrichtung . 226

Von unserer Sprache 227

Aus der Rechtschreibung 227
Großschreibung der Zeitwörter 227
-lich — -ig 227
--tägig — -täglich 228
Von den Fremdwörtern 228
i – ie 229
ph — f 230
ff — fff. 231
z – tz 231
Wörter mit „zu“ 232
Waagen — Wagen 233

Von der Zeichensetzung 234
Der Punkt 234
Der Beistrich 235
Die Anführungsstriche 240

Lösungen 242
Beantwortung der Wiederholungsfragen aus der Werkstoffkunde . . 242
Lösungen zu den Übungsaufgaben aus dem Technischen Rechnen . . 243
Lösungen zu den Übungsaufgaben aus der Naturlehre 258
Lösungen zu den Übungsaufgaben aus dem technischen Zeichnen . . . 268

Bücher für die Weiterbildung 281

Fachkunde

Von den Dampfkesseln

Allgemeines

Die moderne Industrie benötigt ungeheure Mengen von Energie. Kommt man in einen Großbetrieb oder auch in eine Werkstatt, überall sieht man die verschiedensten Arbeitsmaschinen laufen. Für ihren Antrieb werden heute meistens Elektromotoren verwendet. Diese erhalten den Strom von Kraftwerken (soweit nicht werkeigene Stromversorgung in Frage kommt), wo er durch Generatoren erzeugt wird. Die Generatoren werden angetrieben durch Kraftmaschinen, und zwar durch die Wasserturbine, die Dieselmaschine, die Kolbendampfmaschine und die neuere Dampfturbine. Die beiden letztgenannten Maschinenarten benötigen zur Erzeugung des gespannten Dampfes eine Dampfkesselanlage. In ihr wird die in den Brennstoffen enthaltene Energie zunächst in der Feuerung in Wärme umgesetzt, und diese Wärme wird durch die Kesselwandungen an das Wasser als den eigentlichen Arbeitsstoff übertragen. Das Wasser verdampft und vermag nun in der Form des gespannten Dampfes mechanische Arbeit zu leisten. Auf diese Weise wird also die in den Brennstoffen (Kohle und Öl) enthaltene Energie nacheinander in Wärmeenergie, Energie des gespannten Dampfes (man nennt das „potentielle Energie"), mechanische Arbeit, elektrische Energie und schließlich an den Werkzeugmaschinen wieder in mechanische Arbeit umgesetzt. Daneben wird auch noch die Wärme des Abdampfes nach dem Verlassen der Maschine zu Koch- und Heizzwecken benutzt. Dadurch wird eine größere Wirtschaftlichkeit in der Ausnutzung der Wärme und damit der Brennstoffe erreicht.

Bei der Besichtigung einer Dampfkesselanlage fallen uns zunächst die hauptsächlichsten Bestandteile auf. Diese sind: Dampfkessel, Feuerung, Überhitzer, Vorwärmer, Wasserreiniger und Speiseeinrichtung. Am Kessel selbst finden wir noch eine Reihe von Zubehörteilen, und zwar unterscheidet man grobe und feine Armaturen. Zu den groben Armaturen gehören: Rost mit Feuerbrücke, Feuergeschränk, Überhitzerklappen, Rauchschieber mit Seil, Seilrollen und Gegengewicht, Kesselstühle, Mauerwerksverankerung, Bedienungsbühnen, Geländer und Schürzeug. Die feinen Armaturen sind: Sicherheitsventile, Dampfabsperrventile, Speiseventile und Speiserohre, Ablaßvorrichtungen, Wasserstandsanzeiger und Druckmesser (Manometer).

Wie sich aus den obigen Ausführungen ergibt, dient der Dampfkessel zur Aufnahme des Wassers und zur Dampferzeugung. Die Größe und die Bauart der Dampfkessel sind sehr verschieden. Der Kessel ist hergestellt aus Stahltrommeln, die genietet, geschweißt oder auch nahtlos

gezogen sein können, aus Rohren oder aus Verbindungen von Trommeln und Rohren. Das Dampfkesselgesetz gibt genaue Vorschriften über die erforderlichen technischen Eigenschaften der Werkstoffe, so z. B. über Zerreißfestigkeit, Dehnung und Stärke der Kesselbleche, der Nietnähte und der Schweißverbindungen. Da in den letzten Jahrzehnten die verwendeten Dampfdrücke wesentlich höher geworden sind, auch die Feuerraumtemperatur und die Überhitzung gesteigert wurden, müssen für diese modernen Kessel auch die Werkstoffe von immer besseren Festigkeitseigenschaften sein. Gußeisen und Temperguß sind unzulässig für den Kesselbau, da sie zu spröde sind und die Möglichkeit besteht, daß unsichtbare Gußfehler in ihnen enthalten sind.

Der vom Wasser ausgefüllte untere Teil des Kessels führt die Bezeichnung Wasserraum, und dementsprechend heißt der vom Dampf ausgefüllte obere Teil Dampfraum. Während des Betriebes darf der Wasserstand weder zu hoch noch zu niedrig sein. Ist er zu hoch, so wird die Verdampfungsoberfläche zu klein, demzufolge werden bei der sich auf kleiner Oberfläche abspielenden Verdampfung zuviel Flüssigkeitsteilchen mit nach oben gerissen, der Dampf wird zu „naß". Das bedeutet Wärmeverluste und Betriebsstörungen in der Maschine. Ist aber die Wasseroberfläche größer, so wird weniger Feuchtigkeit mit dem Dampf hochgerissen, der Dampf bleibt „trockener". Bei zu tiefem Wasserstand besteht die Gefahr, daß die Kesselwandungen vom Wasser entblößt werden. Sie werden dann, besonders über dem Feuer, schnell glühend und von dem gespannten Dampf leicht ausgebeult. Hierbei besteht die Gefahr, daß das Blech aufreißt. In diesem Falle strömen Dampf und Wasser mit großer Heftigkeit aus dem Kessel heraus. Dabei verdampft augenblicklich das hoch erhitzte Kesselwasser und zerstört die ganze Anlage, da das Mauerwerk dem plötzlich entstehenden Dampfdruck nicht standhalten kann. Der Kessel zerknallt (explodiert). Daher muß die Stelle, unter die der Wasserstand niemals sinken darf, jederzeit am Kessel erkennbar sein. Diese Stelle heißt der zulässig niedrigste Wasserstand. Er wird durch eine Marke mit den Buchstaben N-W an der Stirnwand des Kessels und durch je einen Stift hinter den Wasserstandsgläsern bezeichnet. Der Raum zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wasserstand heißt der Speiseraum.

Die Dampfentnahme erfolgt an der höchsten Stelle des Kessels, am Dampfdom oder Dampfsammler. Eine ausreichende Höhe des Dampfdomes über dem Wasserspiegel gewährleistet ebenfalls, daß der Dampf nicht zu naß wird. Denn dadurch fallen die vom Dampf mitgerissenen Wassertröpfchen wieder zurück. Der aus dem Kessel kommende Dampf hat dann verhältnismäßig wenig Feuchtigkeitsgehalt (etwa 3 bis 6% bei mittlerer Beanspruchung des Kessels).

Die Heizfläche ist die auf der einen Seite von den Heizgasen, auf der anderen Seite vom Wasser berührte Fläche. Hierbei ist zu beachten, daß bei Landkesseln die feuerberührte, bei Schiffskesseln dagegen die

wasserberührte Oberfläche für die Berechnung zugrunde gelegt wird. Die Heizfläche ist ein Maßstab für die Größe des Kessels und somit auch für seine Dampferzeugungsfähigkeit. Daneben spielen hierfür noch die Bauart, Rostflächengröße, der Schornsteinzug und die Brennstoffe eine Rolle. Diese Dampferzeugungsfähigkeit, auch quantitative Leistung genannt, wird ausgedrückt durch die Wassermenge, die in einer Stunde auf 1 m² Heizfläche verdampft wird. Nach dieser benötigten Dampfmenge je Stunde, die abhängt von der gewünschten Leistung der Kraftmaschine, muß sich die Größe eines Kessels richten, und bei der Wahl einer Kesselanlage muß man sich genau überlegen, ob man mit einem kleineren, billigeren auskommt oder ob man einen größeren Kessel benötigt. Andererseits muß im Interesse der Wirtschaftlichkeit der Dampfkessel ausgenutzt sein, so daß man keinen großen aufstellt, wenn man mit einem kleineren auskommt.

Eine besondere Bedeutung in wirtschaftlicher Hinsicht haben noch Überhitzer und Vorwärmer. Im Überhitzer wird der aus dem Dampfsammler kommende nasse Dampf mit 3 bis 6% Feuchtigkeit zunächst getrocknet, d. h. die Feuchtigkeitsteilchen werden hier durch die vorbeistreichenden Heizgase restlos verdampft, und sodann wird der trockene Dampf weiter erwärmt. Hierbei ändert sich der Druck nicht, da ja der Überhitzer mit dem Dampfraum des Kessels in unmittelbarer Verbindung steht. Lediglich die Temperatur steigt. Der Dampf nimmt also noch Wärme in sich auf. Das bewirkt, daß der Dampf bei Abkühlung in den Dampfrohren und Maschinen noch in Dampfform bleibt und nicht kondensiert (d. h. wieder in Wasser übergeht), solange es noch nicht erwünscht ist. Außerdem aber wird die in den Heizgasen noch enthaltene Wärme, nachdem diese einen Teil ihrer Wärme an das Kesselwasser abgegeben haben, noch zur weiteren Erwärmung nutzbar gemacht. Der Dampf erhält dadurch eine höhere Wärmeenergie und vermag mehr mechanische Arbeit zu leisten. Das bedeutet aber eine Brennstoffersparnis für die gleiche Leistung der Maschine und damit eine größere Wirtschaftlichkeit.

Auch der Vorwärmer hat den gleichen Zweck. In ihm wird die letzte noch in den Heizgasen enthaltene Wärme nutzbar gemacht, und zwar zum Vorwärmen des Speisewassers, bevor es in den Dampfkessel gepumpt wird.

Kommt z. B. das Wasser mit einer Temperatur von 15° C aus der Leitung in den Kessel und soll bis 200° C erhitzt werden, so ist eine größere Wärmemenge hierzu erforderlich, als wenn das Wasser im Vorwärmer bereits auf 80° C gebracht ist und nun mit dieser Temperatur in den Kessel eintritt. Die Siedetemperatur des Wassers beträgt nämlich nur bei normalem Luftdruck in Höhe des Meeresspiegels 100° C. Bei geringerem Druck, z. B. in großen Höhen, siedet das Wasser bereits bei einer niedrigeren, bei höherem Druck jedoch, wie z. B. im Dampfkessel, erst bei entsprechend höherer Temperatur. Zeigt das Manometer 15 kg/cm² Druck an, so beträgt die Temperatur des siedenden Wassers 200,5° C.

Man erspart also die Kosten, die aufgewendet werden müssen, um das Wasser von 15° C auf 80° C zu erwärmen, denn die Erwärmung des Wassers im Vorwärmer erreicht man ja mit dem Wärmeinhalt der Heizgase, der sonst größtenteils verlorengehen würde.

In der modernen Industriewirtschaft ist ein Dampfkesselbetrieb ohne Überhitzer und Vorwärmer nicht denkbar.

Die wichtigsten Bauarten der Dampfkessel

Die Entwicklung im Dampfkesselbau ist gekennzeichnet durch das Bestreben nach Schaffung immer größerer Heizflächen und Rostflächen, um höhere Gesamtleistungen und bessere Wirkungsgrade zu erzielen. Hierbei

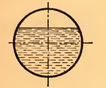
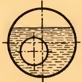
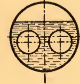


Abb. 1 Walzenkessel





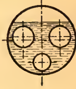


Abb. 2 Flammrohrkessel

versucht man die Kesselgrundfläche nach Möglichkeit zu verkleinern. Daneben aber sucht man auch hohe Temperaturunterschiede zwischen Kesselwasser und Heizgasen, hohe Drücke und hohe Überhitzungstemperaturen anzuwenden sowie die Wärmeleitungswiderstände zu verringern. Alles dies trägt zur besseren Ausnutzung der Wärme und damit des Brennstoffs bei. Daher hat man den alten Walzenkessel (Abb. 1) weiterentwickelt zu den Flammrohrkesseln (Abb. 2) und Verbundkesseln (Abb. 3). Weil aber das Verhältnis der Heizfläche zum Wasserinhalt klein ist, hat man eine Vergrößerung der Heizfläche erzielt durch eine Anzahl von Heiz- oder Wasserrohren (Abb. 4 bis 6). Bei den modernen Hochleistungskesseln finden wir daher eine Menge schräg oder steil angebrachter Rohre. Die Höchstdruckkessel bestehen fast nur noch aus einem System gewundener und gebogener Rohre. Die Verbrennungstemperaturen

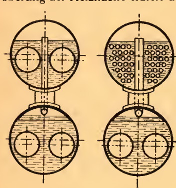


Abb. 3 Verbundkessel

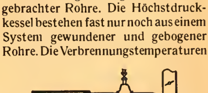




Abb. 4 Heizröhrenkessel

wurden gesteigert durch Einbau von Öl- und Kohlenstaubfeuerungen sowie durch Vorwärmen der Verbrennungsluft. Zwecks günstiger Wärmeübertragung führt man neuerdings im vorderen Teil der Kessel, der der Strahlung noch wirksam ausgesetzt ist, große Querschnitte aus.

Da die Anforderungen, die an einen Kessel je nach der Betriebsart gestellt werden, sehr verschieden sind, sind auch die Kesselbauarten sehr

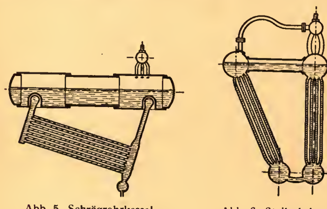


Abb. 5 Schrägrohrkessel

Abb. 6 Steilrohrkessel

zahlreich. Welche Bauart jeweils für die Betriebsverhältnisse am besten geeignet ist, muß für jeden Fall besonders geprüft werden. Die Landdampfkessel werden z. B. nach anderen Gesichtspunkten gebaut als die Dampfkessel für Kriegsschiffe.

Die Dampfkessel werden eingeteilt nach Verwendung, Bauart und Dampfdruck. Nach dem Verwendungszweck unterscheidet man ortsfeste Kessel, die am Arbeitsort dauernd und fest aufgestellt sind, und bewegliche Kessel, die an wechselnden Betriebsstätten benutzt werden, z. B. Lokomotiv-, Lokomobil- und Schiffskessel. Nach der Bauart unterscheidet man Walzenkessel (Abb. 1), Flammrohrkessel (Abb. 2), Verbundkessel (Abb. 3), Heizröhrenkessel (Abb. 4), Wasserrohrkessel, und zwar zwei Arten: Schrägrohrkessel (Abb. 5) und Steilrohrkessel (Abb. 6). In letzter Zeit finden wir noch daneben die Höchstdruckkessel.

Nach ihrem Betriebsdruck unterteilt man ferner die Kessel in Nieder-, Mittel-, Hoch- und Höchstdruckkessel.

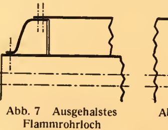


Abb. 7 Ausgehalstes Flammrohrloch

Abb. 8 Eingehalstes Flammrohrloch

Großwasserraumkessel

Großwasserraumkessel sind solche Kessel, bei denen der Wasserraum im Vergleich zu ihrer Heizfläche verhältnismäßig groß ist. Hierher gehören:

1) Walzenkessel. Die einfachste Ausführung zeigt eine weite, liegende Walze. Die einzelnen, etwa 1,5 m langen Schüsse sind konisch ineinandergesteckt. Das hintere Ende oder die Mitte des Kessels trägt den Dampfdom. Er trägt das Sicherheitsventil, den Dampfentnahmestutzen und das Mannloch, das zum Befahren des Kessels nötig ist und im Betrieb mit einem Deckel fest verschlossen ist. Am hinteren Ende sitzt der Entleerungsstutzen. Die Feuerung ist eine einfache Planrostunterfeuerung. Die Walzenkessel werden nicht mehr gebaut, da ihre Leistung zu klein ist.

2) Flammrohrkessel. Flammrohrkessel sind liegende Walzenkessel, die von einem oder mehreren Flammrohren durchzogen sind (Abb. 2). Nach der Anzahl der Flammrohre unterscheidet man Ein- und Mehrflammrohrkessel. In der Praxis des Landdampfkesselbetriebes hat sich neben dem Einflammrohrkessel (auch Seitrohrkessel genannt) der Zweiflammrohrkessel am besten bewährt. Denn bei drei und mehr Flammrohren wird die Feuerbedienung zu unbequem. Die Flammrohre liegen im ersten Feuerzuge und nehmen im vorderen Teil die Feuerung auf. Sie werden daher stark durch äußeren Druck und vor allem durch Wärmespannungen beansprucht. Um sie widerstandsfähiger und wärmeelastischer zu machen und um gleichzeitig die Heizfläche zu vergrößern, wählt man keine glatten Rohre, die zwar billiger sind, sondern stellt sie aus Wellrohren her. Dadurch wird gleichzeitig eine bessere Wärmeausnutzung der Heizgase erreicht. Denn diese geraten beim Vorbeistreichen an der welligen Oberfläche in Wirbelung und geben so ihre Wärme besser an das Kesselwasser ab. Für die Kesselböden werden kugelig gewölbte und gepreßte Bleche mit ein- oder ausgehalsten Flammrohrlöchern verwendet (Abb. 7 und 8). In der Mitte oder am hinteren Ende des Kessels ist wie beim Walzenkessel ein Dampfdom mit dem Mannloch und dem Stutzen für die Dampfleitung und das Sicherheitsventil aufgebaut. Der Entleerungsstutzen sitzt hier am vorderen Ende des Kessels. Als Feuerungen werden meist Planrostfeuerungen eingebaut. Die Speisung erfolgt von der Stirnwand aus durch ein längeres, in das Innere des Kessels hineingeführtes Siebrohr.

3) Doppelkessel (Verbundkessel). Doppelkessel werden als Doppelflammrohrkessel und als Flammrohrkessel mit einem darüberliegenden Heizröhrenkessel ausgeführt (Abb. 3). Beide Kessel sind durch einen weiten Stutzen miteinander verbunden. Bei Gasfeuerungen verwendet man als Unterkessel einen Heizröhrenkessel und als Oberkessel einen Mehrflammrohrkessel. Dadurch wird eine verhältnismäßig große Heizfläche erzielt. Die Feuerung ist nur in oder vor dem Unterkessel angebracht. Daher heißen hier die oberen Rohre Rauchrohre. Bei neueren Ausführungen befindet sich sowohl im Oberkessel wie im Unterkessel ein Dampfraum. Dadurch wird der Gesamtdampfraum und auch die Verdampfungsoberfläche groß.

Beurteilung und Abmessungen der Großwasserraumkessel

Die betriebstechnischen Vorteile der Großwasserraumkessel bestehen in folgendem: Ihre Bedienung und Reinigung ist sehr bequem. Die Heizflächen- und Wärmeausnutzung in den Flamm- und Heizrohren ist recht wirksam. Da die Feuerung in den Flammrohren untergebracht ist, haben sie nur geringe Strahlungs- und Leistungsverluste. Infolge der großen Wasserräume sind auch die Stillstandsverluste nur klein. Die Kessel, besonders die Doppel- oder Verbundkessel, liefern wegen ihrer großen Verdampfungsoberfläche und der großen Dampfräume trockenen Dampf. Infolge des großen Wasservorrats sind sie imstande, ungleichmäßige Betriebsbelastungen in der Dampfentnahme gut aufzunehmen. Gegen hartes Wasser, durch das die Kesselsteinbildung gefördert wird, sind die Flammrohrkessel unempfindlicher als die Wasserrohrkessel.

Dem stehen als betriebliche Nachteile gegenüber der immerhin geringe Wasserumlauf und die Explosionsgefahr. Denn das Flammrohr, also der heißeste Teil der Heizfläche, wird bei zu weit sinkendem Wasserstande zuerst vom Wasser entblößt und wird glühend; der Kessel zerknallt.

In den Flamm- und Heizrohren wird durch die starke Ruß- und Flugascheablagerung der Wärmeübergang an das Kesselwasser erschwert, denn Ruß- und Flugasche sind schlechte Wärmeleiter. Dieser Nachteil kann jedoch durch Verwendung guten Brennstoffes und geeigneter Ausblasevorrichtungen verringert werden. Dadurch kann gleichzeitig die Heizgaswirbelung begünstigt werden. Bei solchen Verbundkesseln, die neben dem Flammrohrkessel einen Heizröhrenkessel haben, müssen die Einwalzstellen der Rohre vom Kesselstein freigehalten werden, sonst besteht die Gefahr, daß undichte Stellen entstehen. Dies muß unter allen Umständen vermieden werden. Daher werden in der Praxis die Doppelflammrohrkessel mehr bevorzugt. Bei den Verbundkesseln macht sich außerdem die mangelnde Unterbringungsmöglichkeit genügend großer Heizflächen nachteilig bemerkbar. Die Großwasserraumkessel sind als unelastische Kessel träge und empfindlich beim Anheizen, bei plötzlich steigenden Betriebsanstrengungen und beim Abstellen.

Sämtliche Großwasserraumkessel sind für den Hochdruckdampfbetrieb ungeeignet. Denn die Kesselblechstärken müßten bei mehr als 19 at Druck bei dem großen Durchmesser der Trommeln zu groß werden.

In baulicher Hinsicht beruhen die Vorteile der Großwasserraumkessel auf ihrer einfachen und billigen Herstellung und der geringen Grundflächenbeanspruchung der Verbundkessel. Dem steht als Nachteil in baulicher Beziehung der große Raumbedarf der Flammrohrkessel und die durch die Bauart bedingte Begrenzung der Heizflächengröße gegenüber.

Verwendung: Die Flammrohrkessel finden hauptsächlich in kleinen und mittleren Betrieben Verwendung und sind hier stark verbreitet, die Verbundkessel auch in größeren, z. B. bei Schmiedepressen, Dampfhämmern, Fördermaschinen usw. Man stellt die Großwasserraumkessel besonders

dann auf, wenn die Betriebsbelastungen schwankend sind und wenn ein trockener Dampf benötigt wird. Die Verbundkessel sind aber allmählich durch die wirtschaftlichen Wasserrohrkessel mehr und mehr verdrängt worden.

Die Größe der Heizfläche beträgt:

für Einflammrohrkessel etwa	20—50 m²,
für Zweiflammrohrkessel etwa	50—150 m²,
für Dreiflammrohrkessel bis zu	250 m²,
für Doppelkessel je nach der Bauart	100—250 m².

Kessel dieser Art mit größerer Heizfläche (bis zu 600 m²) bilden Ausnahmen.

Die Heizflächenleistung eines Kessels ist die auf einem m² Heizfläche in der Stunde erzeugte Dampfmenge in kg (kg/m² h, gelesen: kg je m² und Stunde). Diese beträgt bei guten Brennstoffen und je nachdem der Betrieb mäßig, normal oder angestrengt durchgeführt wird,

bei Einflammrohrkesseln	15—25 kg/m² h,
bei Zweiflammrohrkesseln	16—30 kg/m² h,
bei Verbundkesseln	16—22 kg/m² h.

Größere Verbundkessel haben jedoch eine der Bauart entsprechend höhere Heizflächenleistung.

Die angegebenen Zahlenwerte werden aber nur erreicht, wenn die Kessel mit Überhitzer und Speisewasservorwärmer ausgerüstet sind, was meistens der Fall ist.

Der Betriebsdruck liegt im allgemeinen bei 15—18 kg/cm².

Der Wirkungsgrad der Ein- und Zweiflammrohrkessel liegt etwa zwischen 70—75%, d. h. von 100 kcal aufgewendeter Brennstoffwärme gehen 70—75 kcal an das Kesselwasser über, der Rest geht durch Strahlung, Schornstein usw. verloren.

Das Verhältnis der Heizfläche zur Grundfläche beträgt:

bei Einflammrohrkesseln etwa	1,3—2,1,
(d. h. auf 1 m² Grundfläche kommen	1,3—2,1 m² Heizfläche),
bei Zweiflammrohrkesseln	1,3—2,4,
bei Doppelkesseln etwa	2,5—12 und mehr,

je nach der Bauart. Hier zeigt sich das Bestreben, eine möglichst große Heizfläche auf kleinerer Grundfläche unterzubringen.

Das Verhältnis der Heizfläche zur Rostfläche beträgt:

bei Einflammrohrkesseln etwa	15—20,
(auf 1 m² Rostfläche kommen	15—20 m² Heizfläche),
bei Zweiflammrohrkesseln etwa	18—25,
bei Verbundkesseln etwa	25—30—60 je nach der Bauart.

Die Kesseldurchmesser betragen:

bei Einflammrohrkesseln	1500—2200 mm,
bei Zweiflammrohrkesseln	2100—2800 mm.

Die Flammrohrdurchmesser werden ausgeführt:

bei Einflammrohrkesseln etwa mit	700— 950 mm,
bei Zweiflammrohrkesseln etwa mit	700—1100 mm.

Die Kessellänge beträgt:

bei Einflammrohrkesseln	4—11 m,
bei Zweiflammrohrkesseln	6—12 m.

Die Grundfläche beträgt etwa:

bei Einflammrohrkesseln	11—28 m² und
bei Zweiflammrohrkesseln	25—55 m².

Bei Wellrohren ist die Heizfläche etwa 14% größer als bei einem glatten Rohr, dessen Durchmesser gleich dem inneren Wellrohrdurchmesser sein würde.

Kleinwasserraumkessel

Heizröhrenkessel

Um auf kleinerer Grundfläche eine größere Heizfläche zu erzielen, ist man zum Bau der Heizröhrenkessel übergegangen. Bei ihnen treten an die Stelle einiger weiter Flammrohre eine große Zahl enger Rohre von 50 bis 70 mm Durchmesser und 3 bis 4 mm Wandstärke. Sie sind also eine Weiterentwicklung der Mehrflammrohrkessel. Es sind Walzenkessel mit sehr verschieden großem Durchmesser. Die Kesselböden sind eben und durch die Rohre miteinander verbunden. Ein Teil der Rohre, etwa ein Drittel, besitzt eine größere Wandstärke und ist eingeschraubt, sie dienen als Verankerung. Die übrigen werden in die Böden nur eingewalzt. Die Rohre werden von den Heizgasen durchströmt. Im Gegensatz zu den Flammrohrkesseln haben sie eine gemeinsame Feuerung. Den Feuerraum bilden Feuerbüchsen aus Kupfer oder Stahl, die wie die Rohre vom Wasser umgeben sind. Sie sind entweder rund (flammrohrähnlich) oder viereckig (quaderförmig) ausgeführt. Bei Lokomobilen sind häufig die flammrohrartige Feuerbüchse und das Heizrohrbündel so miteinander verbunden, daß man das Ganze aus dem Innern des Kessels herausziehen kann. Derartige Kessel nennt man ausziehbare Röhrenkessel.

Bei den Heizrohrkesseln unterscheidet man zwei Gruppen: Feuerbüchskessel und einfache Heizrohrkessel. Die letzteren werden durch Abgase beheizt und benötigen keine Feuerbüchse. Sie werden liegend oder auch stehend angeordnet.

Die Heizflächengröße beträgt etwa:

bei fahrbaren Lokomobilkesseln	10— 50 m²,
bei Lokomotivkesseln	15—300 m²,
bei großen Schiffskesseln	300—600 m²,
bei Stehkesseln	5— 30 m²,
bei stehenden Schiffskesseln bis zu	100 m².

Die Vorteile der Heizrohrkessel: Diese Kessel sind sehr elastisch, lassen sich schnell und ohne großen Wärmeaufwand anheizen und rasch auf hohe Dampfleistungen bringen. Die Heizfläche ist sehr wirksam und daher die Wärmeausnutzung noch gut, obwohl der Weg der Heizgase nur kurz ist. Die ausziehbaren Heizröhrenkessel sind bequem zu reinigen. Alle Heizröhrenkessel beanspruchen nur geringen Raum und lassen sich leicht aufstellen. Ihre Nachteile: Sie erfordern aufmerksame Bedienung, da Wasser- und Speiseraum nur klein sind. Die Verdampfungsoberfläche ist ebenfalls klein. Der erzeugte Dampf ist daher oft feucht. Gegen hartes Wasser sind die Kessel empfindlich. Die Einwalzstellen werden leicht undicht. Der Wasserumlauf ist gering. Ruß- und Flugascheablagerung in den Heizröhren erschwert den Wärmedurchgang und verursacht höhere Schornsteinverluste. Diese lassen sich aber durch den Einbau eines Überhitzers verringern.

Schrägrohrkessel

Die Schrägrohrkessel gehören zu den Wasserrohrkesseln, von denen wir mehrere Gruppen unterscheiden, nämlich neben den Schrägrohrkesseln noch die Steilrohrkessel und die Höchstdruckkessel. Die Wasserrohrkessel haben im neuzeitlichen Kesselbau eine große Verbreitung gefunden. Sie haben gegenüber den bisher behandelten mancherlei Vorzüge. Sie benötigen im Verhältnis zu ihrer großen Heizfläche nur wenig Platz. Es läßt sich also auf kleiner Grundfläche eine große Heizfläche unterbringen. Sie verfügen über eine große Heizflächenleistung und sind leicht in Betrieb zu setzen, sie sind als Kleinwasserraumkessel also sehr elastisch. Der Nachteil, daß sie infolge ihrer geringen Kesselwassermenge nur wenig speicherfähig sind, fällt bei den heutigen hoch entwickelten Feuerungen nicht mehr so sehr ins Gewicht, denn die modernen

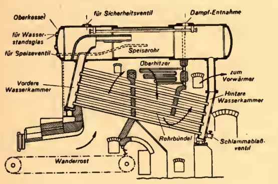


Abb. 9 Schrägrohrkessel

Feuerungen sind ebenfalls elastisch. Bei stärkerer Belastung des Kessels kann man die Feuerung der größeren Dampfentwicklung anpassen.

Alle Wasserrohrkessel bestehen aus Bündeln von geraden oder gekrümmten Rohren, die in Wasserkammern oder Trommeln eingesetzt sind und von Wasser durchflossen werden. Ein guter und gleichmäßiger Wasserumlauf wirkt sich für die Wärmeübertragung günstig aus. Dieser Wasserumlauf wird hier besonders gut erreicht. Durch eine große Wasseroberfläche wird die Nässe des Dampfes verringert, und im gleichen Sinne wirkt sich ein großer Dampfraum aus. Die Wasserrohre können schwierig gereinigt werden. Daher muß das frisch zugeführte Speisewasser auf das sorgfältigste gereinigt werden, damit sich kein Schmutz und Kesselstein ansetzen. Bei den Wasserrohrkesseln kann man sehr gut und bequem geräumige und hohe Feuerräume einbauen. Dadurch ist eine Steigerung der Leistung infolge der Übertragung der Wärme durch Strahlung möglich. Für Wasserrohrkessel können alle Feuerungsarten Verwendung finden. In neuerer Zeit ist man vielfach zu Kohlenstaub-, Öl- und Gasfeuerung übergegangen.

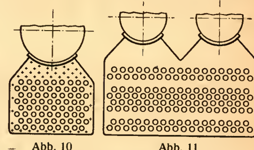


Abb. 10 Abb. 11
Wasserkammern mit Rohranordnung

Die Wasserrohre haben meistens einen äußeren Durchmesser von 95 mm und eine Wandstärke von $3\frac{1}{2}$ bis $3\frac{3}{4}$ mm. Diese Wandstärke reicht auch für hohe Drücke aus. Die Hauptmenge des Dampfes wird in den Rohren erzeugt. Diese müssen daher schräg oder senkrecht angeordnet sein, damit der Dampf nach oben steigen kann. Die Rohre müssen mit den Trommeln so verbunden sein, daß sie gereinigt und ausgewechselt werden können. Nach der Anordnung der Rohre unterscheidet man Schrägrohrkessel und Steilrohrkessel. Ein Schrägrohrkessel ist in Abb. 9 dargestellt.

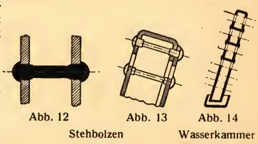


Abb. 12 Abb. 13 Stehbolzen
Abb. 14 Wasserkammer

Die geraden Rohre sind in sogenannte Wasserkammern eingewalzt und 1 : 5 bis 1 : 3,5 gegen die Waagerechte geneigt. Dadurch wird der Wasserumlauf begünstigt. Sie sind übereinander versetzt angeordnet (Abb. 10 und 11), damit jedes einzelne Rohr gut von den Heizgasen bestrichen

werden kann und gleichzeitig die Strahlungsheizfläche über dem Rost vergrößert wird.

Die Wasserkammern sind rechteckige Kästen (Abb. 10, 11, 14). Sie sind innen durch Stehbolzen gegen Ausbiegen versteift (Abb. 12 bis 14).

Die Zweikammerkessel haben 1 oder 2 Trommeln als Oberkessel (Abb. 10 und 11), die entweder in Längs- oder Querrichtung liegen können.

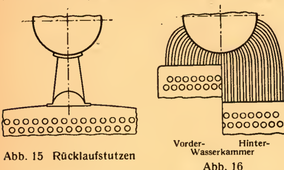


Abb. 15 Rücklaufstutzen

Abb. 16

Die Verbindung der vorderen Wasserkammer mit dem Oberkessel erfolgt durch Umbördelung des Kammerhalses und Nietung. Die hintere Wasserkammer wird durch einen langen konischen Übergangsstutzen, den sogenannten Rücklaufstutzen mit dem Oberkessel verbunden (Abb. 15). Beide Kammern können auch durch gekrümmte Rohre an den Oberkessel angeschlossen sein (Abb. 16). Der Querschnitt der Verbindungsteile zwischen Trommeln und Kammern soll zur Erzielung eines guten Wasserumlaufes mindestens $\frac{1}{10}$ des Gesamtrohrquerschnitts betragen. Das Wasser soll in der hinteren Kammer herabsinken und in der vorderen emporsteigen. Zur Schlammablassung ist die hintere Wasserkammer an der tiefsten Stelle mit einem Ablaßhahn ausgerüstet. In der Kammerwand ist gegenüber jedem Rohr eine Öffnung angebracht, um die Rohre reinigen und auswechseln zu können. Diese Öffnungen werden durch Deckel mit Innenverschluß verschlossen (Abb. 17) und werden so durch den Kesseldruck angepreßt.



Abb. 17 Verschluß

Die Verschlußdeckel werden durch längliche Löcher eingeführt, die zwischen den runden Löchern verteilt sind. Die Deckel für die länglichen Löcher lassen sich von außen einsetzen; sie werden hierbei mit ihrer Schmalseite durch die weite Öffnung des Loches geführt.

Die Speisung erfolgt vom vorderen Kesselboden aus in den Oberkessel durch ein langes Rohr. Dadurch wird erreicht, daß das Speiserohr gleichzeitig als Vorwärmerohr wirkt, in dem das Wasser schon vor seinem Austritt auf hohe Temperatur gebracht wird.

Zur Begünstigung des Wasserumlaufs und um in dem durch die Wasserkammern aufsteigenden Gemisch aus Dampf und Wasser das Wasser vom Dampf zu trennen, werden im Oberkessel an der Einmündung der Vorderkammer Leit- oder Lenkbleche eingebaut.

Man ist im Kesselbau dazu übergegangen, die beiden, für alle Rohre gemeinsamen Kammern durch Teilkammern zu ersetzen. Man nennt diese Kessel Teilkammerkessel oder auch Sektionalkessel. Sie gleichen den Zweikammerkesseln. Ein Unterschied besteht nur in der Bauart der Wasserkammern. Diese bestehen aus einer Anzahl von senkrecht nebeneinander angeordneten, dicht zusammengefügten Teilkammern (Abb. 18, 18a und 19).

Jede Teilkammer ist durch ein Rohr mit dem Oberkessel verbunden. Die Rohre haben mindestens den gleichen Querschnitt wie jedes Rohr der Teilkammer. Die Teilkammern haben etwa quadratischen Querschnitt (Abbildung 20), werden nahtlos gepreßt und haben in ihrer Längsrichtung eine schlangenartige Form (Abb. 18 bis 20). Durch diese Form wird erreicht, daß die übereinanderliegenden Wasserrohre versetzt angeordnet werden können. Bei dieser Bauart brauchen die Wände nicht durch Stehbolzen verankert zu werden. Auch kann jede senkrechte Rohrreihe sich unabhängig von den anderen ausdehnen, und die Wärmespannungen werden wesentlich herabgesetzt. Ferner sind höhere Drücke möglich. Die einzelnen Kammern müssen sorgfältig gegeneinander abgedichtet werden (Abb. 18).

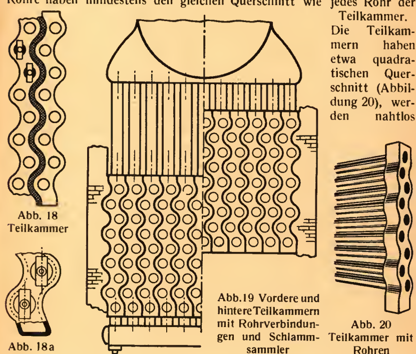


Abb. 18 Teilkammer

Abb. 18a

Abb. 19 Vordere und hintere Teilkammern mit Rohrverbindungen und Schlammsammler

Abb. 20 Teilkammer mit Rohren

In neuerer Zeit werden Teilkammerkessel mit querliegenden Trommeln immer mehr gebaut. Sie eignen sich besonders für hohe Drücke und große Leistungen. Man findet sie daher viel in Großkraftwerken. Die Wasserrohre sind steiler (etwa 1 : 3) als bei den älteren Ausführungen.

Für Heizflächen über 500 m² haben diese Kessel die mit längsliegendem Oberkessel verdrängt. Bei dieser Anordnung können die Rohre in großer Breite angeordnet werden. Die Dampfleistung ist bei diesen Kesseln daher größer als bei den Kesseln mit Längstrommeln.

Die Schrägrohrkessel sind mit Überhitzer, Speisewasservorwärmer und vielfach auch mit Luftvorwärmer ausgerüstet.

Steilrohrkessel

Die Weiterentwicklung im Bau der Wasserrohrkessel führte von den Schrägrohrkesseln zu den Steilrohrkesseln. Die flachen Kammern der Schrägrohrkessel mit den vielen Verankerungen und Putzlochverschlüssen sind hier ersetzt durch Walzenkessel (Trommeln). Diese sind durch 2 oder 3 ganz oder wenigstens nahezu senkrecht stehende Rohrbündel miteinander verbunden. Alle ebenen Flächen fehlen bei dieser Kesselbauart. Die Steilrohrkessel zeigen an Ober- und Unterkessel nur zylindrische Formen. Sie eignen sich sehr gut für hohe Dampfspannungen. Die Oberkessel lagern auf Kesselstühlen auf dem Kesselgerüst oder hängen in besonderen Hängevorrichtungen. Die Unterkessel sind nicht aufgelagert, sondern hängen in den Wasserrohren. Daher können diese sich bei Erwärmung frei ausdehnen.

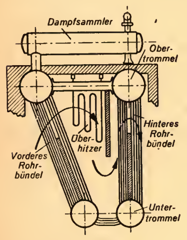


Abb. 21 Garbekessel

Die Steilrohrkessel besitzen eine große Heizflächenleistung. Der Wasserumlauf ist bei ihnen sehr gut. Er wird gefördert durch die steil aufsteigenden Rohre, ferner dadurch, daß die Fallrohre kühl liegen und daß Verengungen durch Stutzen, wie wir sie bei den Schrägrohrkesseln finden, vermieden werden. Die Fallrohre werden bei gewissen Bauarten überhaupt nicht mit beheizt. Naturgemäß ist der Wasserumlauf in den am meisten beheizten Steigrohren am stärksten. Nach dem Ende des Kessels zu nimmt er allmählich ab. Da in den vorderen Rohren eine Aufwärtsbewegung und in den hinten liegenden Fallrohren eine gegenläufige Bewegung des Wassers erfolgt, kann es vorkommen, daß es in der Mitte eine Stelle gibt, an der sich das Wasser in keiner Richtung bewegen würde. Die Rohre an dieser Stelle läßt man zweckmäßig fort und baut hier den Überhitzer ein. In diesem Fall ist die Stelle des Überhitzers die Grenze zwischen den Steig- und Fallrohren. Vor dem Überhitzer haben wir dann die Steigrohre und hinter ihm die Fallrohre.

Auch die Obertrommeln sind durch Rohre miteinander verbunden. Diese Verbindungsrohre müssen genügenden Gesamtquerschnitt besitzen, weil sonst die Gefahr besteht, daß der Wasserspiegel in der Obertrommel, die die Fallrohre trägt, absinkt. Früher nahm man wenige Rohre mit großem Durchmesser, heute stellt man die Verbindung durch eine größere Anzahl von Rohren mit kleinem Durchmesser her.

Man unterscheidet Steilrohrkessel mit geraden Rohren und solche mit gebogenen Rohren. Bei der letzteren Bauart können die Oberkessel in Längs- oder Querrichtung angeordnet sein.

Die älteste Bauart der Steilrohrkessel, der „Garbekessel", hat vollkommen gerade Rohre, die parallel nebeneinander liegen (Abb. 21).

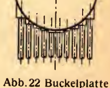


Abb. 22 Buckelplatte mit Rohren

Die Rohre sind dabei in die stufenförmig ausgebeulten Kesselbleche der Ober- und Unterkessel eingesetzt. Sie sind bei dieser Bauart leicht auswechselbar. Früher hatte man Stufenplatten, sogenannte Buckelplatten, die auf die Kesselbleche genietet wurden. Heute werden sie in die Bleche eingepreßt und bilden mit dem Kesselblech ein Stück (Abb. 22).

Die Stufenplatten sind so ausgebildet, daß die Rohre senkrecht zur Einwalzfläche in diese eingewalzt werden können. Bei diesen Kesseln lassen sich die Rohre einfach und schnell reinigen. Daher brauchen an die Beschaffenheit des Kesselspeisewassers nicht so hohe Anforderungen gestellt zu werden wie bei Kesseln, deren Rohre schwierig zu reinigen sind.

Auch ist das Einziehen von Ersatzrohren verhältnismäßig einfach, und es lassen sich Rohre zum Auswechseln leicht und billig auf Lager vorrätig halten; denn es werden verhältnismäßig wenig verschiedene Längen benötigt.

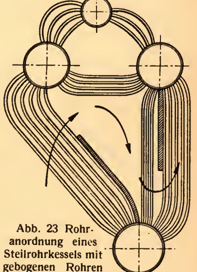


Abb. 23 Rohranordnung eines Steilrohrkessels mit gebogenen Rohren

Diese Kessel lassen sich nur bei Betriebsdrücken bis zu 30 bis 35 kg/cm² anwenden. Denn durch die Einpressung der Buckelplatten wird die Festigkeit der Trommeln stark beeinträchtigt. Die Heizflächengröße solcher Kessel geht bis zu 2000 m². Die Heizflächenleistung beträgt bis zu 50 kg/m² h.

Die Oberkessel sind mittels Kesselstühlen auf Rollen gelagert, und zwar so, daß sie sich nach allen Seiten frei bewegen können.

Weitere Verbreitung aber als diese Kessel mit geraden Rohren haben die Kessel mit gebogenen Rohren gefunden. Sie bieten der eben behandelten Bauart gegenüber eine Reihe von Vorteilen. Die Abb. 23 zeigt die Rohranordnung eines solchen Kessels.

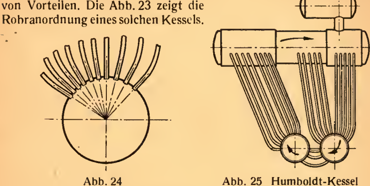


Abb. 24 Abb. 25 Humboldt-Kessel

Die gebogenen Rohre lassen bei ungleichmäßiger Erwärmung des Rohrbündels Formänderungen zu, sie geben federnd nach. Sie tragen der hohen Temperaturbeanspruchung und der Rohrausdehnung weitgehend Rechnung. Die Wärmespannungen werden daher auf ein Mindestmaß herabgesetzt. Da die Buckelplatten fehlen, ist die Festigkeit der Trommeln in keiner Weise beeinträchtigt. Diese Gründe haben zur Bevorzugung der gekrümmten Rohre geführt, und man nimmt dafür gern die Nachteile in Kauf, die sie mit sich bringen. Denn der Einbau und das Auswechseln der Rohre ist schwieriger als bei geraden Rohren. Dasselbe gilt für die Rohrreinigung. Deshalb ist völlig kesselsteinfreies Wasser für den Betrieb dieser Kessel Vorbedingung. Die Anzahl der Trommeln bei den Steilrohrkesseln mit gebogenen Rohren schwankt zwischen 2 und 5. Man spricht daher auch von 2-, 3- usw. Trommelkesseln. Meistens werden 2 bis 3 Trommeln ausgeführt.

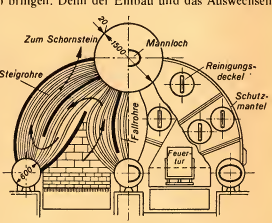


Abb. 26 Schultz-Kessel

Die Rohre werden radial in die Trommel eingeführt (Abb. 24) und haben eine Länge von 6 bis 8 (bis zu 10) m. Die Trommeln liegen meist quer zur Feuerung. Eine Ausnahme bildet der „Humboldt-Kessel" (Abb. 25), bei

dem der Oberkessel zur Erzielung eines besseren Wasserumlaufs in Längsrichtung angebracht ist. Bei dieser Bauart muß jedoch jedes Rohr eine andere Form haben. Die Herstellung wird dadurch teurer.

Bei den Steilrohrkesseln wird die Führung der Heizgase durch eingesetzte Führungswände geregelt. Nach Möglichkeit werden die Einwalzstellen der Rohre in die Trommeln vor den Heizgasen geschützt. Die Überhitzer sind bei diesen Kesseln hinter dem ersten Zug angebracht.

Eine besondere Bauart dieser Kessel ist der Wasserrohrkessel von Schultz, der viel als Schiffskessel verwendet wird und in vielen Teilen von der üblichen Bauart abweicht (Abb. 26).

Zwei oder drei symmetrisch angeordnete Unterkessel sind durch je ein gekrümmtes Wasserrohrbündel mit einem gemeinsamen Oberkessel verbunden. Die Fallrohre sind zum Teil außerhalb der Ummantelung angebracht. Diese Bauart zeichnet sich durch sehr guten Wasserumlauf aus. Bei diesen Kesseln kann man, da sie mit vielen engen Rohren ausgestattet sind, eine sehr große Heizfläche auf kleiner Grundfläche unterbringen. Die Reinigung dagegen ist schlecht. Daher kann man nur ganz reines Speisewasser verwenden.

Die Steilrohrkessel eignen sich für große Dampfanlagen und werden besonders für den Turbinenbetrieb bevorzugt.

Höchstdruckkessel

Die moderne Betriebstechnik zeigt das Bestreben, mit hohen Dampfdrücken zu arbeiten. Dampf von 50 at und mehr kann man in Wasserrohrkesseln erzeugen, die in ihrer Bauart nicht wesentlich von den für niedrigere Betriebsdrücke verwendeten Kesseln verschieden sind. Hierbei treten an die Stelle von genieteten Trommeln geschweißte oder nahtlos geschmiedete, deren Wandstärken wegen der größeren Beanspruchung stärker ausgeführt werden müssen. Bedingung hierfür ist ein gut gesicherter Wasserumlauf und größte Sorgfalt bei der Herstellung und dem Zusammenbau der einzelnen Teile. Auch müssen die Trommeln einen geringeren Durchmesser haben, damit die Wandstärken nicht übermäßig groß ausgeführt zu werden brauchen.

Die Schaffung dieser Voraussetzungen ist jedoch mit gewissen Schwierigkeiten verbunden. Um diese zu umgehen, ist man im Kesselbau dazu übergegangen, besondere Bauarten herzustellen, in denen der Höchstdruckdampf erzeugt wird. Diese Kessel können entweder unmittelbar oder mittelbar beheizt werden.

a) Der Atmoskessel. Bei diesem Kessel wird der Dampf in waagerecht angebrachten umlaufenden Rohren (Trommeln) erzeugt, die sich mit etwa 300 Umdrehungen pro Minute drehen und einen Durchmesser von ungefähr 300 mm haben. An den Enden besitzen sie Öffnungen, die durch gut abgedichtete Stopfbuchsen abgeschlossen sind. Den Rohren wird an einem Ende das Wasser zugeführt, und auf der Gegenseite wird der

erzeugte Dampf abgeleitet. Die Rohre sind dabei nur zum Teil mit Wasser gefüllt. Infolge der durch die Umdrehung erzeugten Fliehkraft wird das Wasser gegen die Rohrwand gedrückt. Die Dampfblasen, die an der Rohrwand entstehen, werden in den Hohlraum im Innern des Rohres gedrängt. Infolge der Umdrehung wird also die Rohrwandung immer gut vom Wasser gekühlt. Die Heizflächenbeanspruchung kann bei diesen Kesseln außerordentlich hoch getrieben werden, ohne daß die Rohre glühend werden. Der Nachteil des Atmoskessels besteht in der schwierigen Abdichtung der Stopfbuchsen gegen den hohen Innendruck, der bis 125 at beträgt.

b) Der Benson-Kessel (Abb. 27). Der Benson-Kessel besteht aus einer großen Anzahl von beheizten Rohrschlangen. Der Dampf wird bei einem Druck von 225 at und einer Temperatur von 374° C erzeugt. Das Speisewasser wird zunächst dem Vorwärmer *b* durch die Speisepumpe bei 240 at zugeführt. Nachdem es im Vorwärmer *b* auf etwa 180 bis 200° C vorgewärmt ist, gelangt es in den Dampferzeuger *a*, wo es verdampft. Im 1. Überhitzer *c* (zum Teil auch schon im Verdampfer) wird der Dampf noch etwas überhitzt und durch das Drosselventil *d* auf den Betriebsdruck von etwa 100 at gedrosselt. Bei diesem Druck wird er im 2. Überhitzer *e* auf die verlangte Temperatur gebracht, um dann der Maschine durch das Ventil *f* zugeleitet zu werden. Der Wasserinhalt ist nur sehr gering. Aus diesem Grunde und wegen seines ganzen Aufbaues wird ein schnelles Anfahren des Kessels ermöglicht. Auch ist er deshalb wie der Atmoskessel weniger gefährlich bei Explosionen. Aus demselben Grunde haben beide Kessel nur sehr kleines Speichervermögen. Daher müssen die Feuerungen so eingerichtet sein, daß sie sich schnell und in weiten Grenzen dem Dampfbedarf anpassen lassen (Brennerfeuerungen).

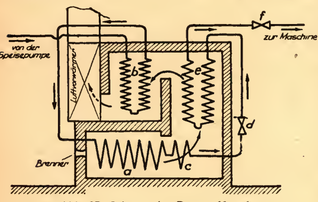


Abb. 27 Schema des Benson-Kessels

c) Der Löffler-Kessel (Abb. 28). Im Betriebe wird der Verdampfertrommel *a* Wasser, das im Vorwärmer *b* hoch vorgewärmt ist, durch die Speisepumpe zugeführt und das verdampfte Wasser laufend ersetzt. Der im Dampfraum sich bildende Naßdampf wird durch die Umwälzpumpe *c* angesaugt und durch den Überhitzer *d* gedrückt. Nach der Überhitzung geht ein Teil des Dampfes durch die Leitung *e* zur Maschine, der andere Teil durch die Dampfleitung *f* zum „Verdampfer" zurück. Der Dampf

tritt aus einer Anzahl von Öffnungen oder Düsen in den Wasserraum der Trommel ein, und hier wird die im Überhitzer aufgenommene Überhitzungswärme zur weiteren Dampferzeugung nutzbar gemacht. Sie geht an das Wasser über, da die Temperatur des überhitzten Dampfes höher ist als die des Wassers. Die Dampferzeugung erfolgt also hier durch Einblasen des überhitzten Dampfes in das Kesselwasser (mittelbare Beheizung).

Die Verdampfertrommel liegt außerhalb der Feuerung. Da die Wärmezufuhr innerhalb der Trommel erfolgt, kann man den Verdampfer mit großen Wandstärken ausführen, ohne daß der Wärmeübergang dadurch leidet. Auch läßt sich die Trommel aus diesem Grunde gut isolieren, und man kann sie an beliebiger Stelle einbauen. Das Kesselgerüst wird dadurch einfacher.

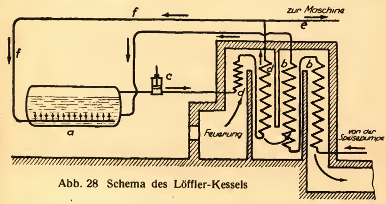


Abb. 28 Schema des Löffler-Kessels

Bei Inbetriebnahme des Kessels wird der Verdampfer halb mit Wasser und halb mit Dampf aus einem anderen Kessel gefüllt. Der Druck des Dampfes kann dabei beliebig sein. Darauf setzt man die Umwälzpumpe in Betrieb, läßt durch sie den Dampf aus der Trommel absaugen und drückt ihn durch den direkt beheizten Überhitzer in die Trommel zurück. Durch die dauernde Wärmezufuhr steigt der Druck allmählich immer höher, bis der gewünschte Betriebsdruck erreicht ist. Dann wird das Absperrventil zur Maschine geöffnet. Je höher der Druck des Hilfsdampfes beim Anfahren ist, desto rascher ist der Kessel betriebsbereit.

d) Der Schmidt-Hochdruckkessel (Abb. 29). Auch dieser Kessel arbeitet wie der Löffler-Kessel mit mittelbarer Beheizung. Aber während bei der oben besprochenen Bauart der Heizdampf direkt in das Wasser der Verdampfertrommel geblasen wird, erfolgt hier die Erwärmung des Kesselwassers und die Dampfbildung durch Rohrschlangen, die in der Verdampfertrommel liegen. Durch diese geht der Heizdampf hindurch und gibt die Wärme durch die Rohrwandung an das Kesselwasser ab. Das umlaufende Wasser ist immer dasselbe und kommt mit dem Wasser, aus dem der Betriebsdampf erzeugt wird, nicht in Berührung. Es läuft nur als

Heizmittel um, und es kann sich infolgedessen kein Kesselstein in den Rohren bilden. Voraussetzung ist natürlich, daß das Wasser in den Rohren völlig rein ist.

Das Wasser wird in der in der Feuerung liegenden Rohrschlange, der Verdampferschlange *a*, verdampft. Der Dampf geht alsdann in den Zwischenbehälter *b* und von da durch das Rohr *c* in die Rohrschlange der Trommel *d*. In dem Zwischenbehälter *b* erfolgt die Trennung von Dampf und Feuchtigkeit; denn in der Verdampferschlange entsteht Naßdampf, d. h. Dampf, in dem noch Feuchtigkeitsteilchen enthalten sind. Durch das Fallrohr *e* fließt das Wasser in den Sammelbehälter *f*, um von da aus wieder in die Verdampferschlange *a* zu erneuter Verdampfung einzutreten.

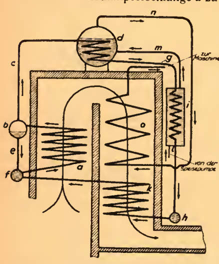


Abb. 29 Schema des Schmidt-Kessels

In der Trommel *d* gibt nun der Dampf seine Wärme an das Kesselwasser ab und kondensiert (verflüssigt sich). Das kondensierte Wasser fließt durch das Rohr *g* nach unten ab in einen Sammelbehälter *h*. Um den völlig selbsttätig erfolgenden Wasserumlauf zu unterstützen, führt man das Rohr durch einen Wärmeaustauscher *i* hindurch. Durch diesen wird von der Speisepumpe das Speisewasser gedrückt. Das Wasser im Rohr *g* gibt seine Wärme an das Speisewasser ab. Der Wärmeaustauscher *i* dient also gleichzeitig als Kühler für das Kondensat und als Speisewasservorwärmer. Hat sich in dem Sammelbehälter *h* das Wasser auf etwa 80 bis 100° C abgekühlt, tritt es in den Rauchgasvorwärmer *k* ein und wird dort wieder auf etwa 200 bis 230° C erwärmt. Von hier aus fließt es durch den Sammelbehälter *f* wieder in die Verdampferschlange *a* ein, und der Kreislauf beginnt von neuem. Der Umlauf des Wassers erfolgt bei dieser Bauart ohne Pumpe.

Das Kesselspeisewasser tritt bei *l* in den Wärmeaustauscher *i*, wird hier vorgewärmt und durch das Leitungsrohr *m* in die Verdampfertrommel *d* gedrückt. Hier verdampft es, und der Dampf wird durch das Rohr *n* dem Überhitzer *o* zugeführt. Von da aus wird es der Kraftmaschine zugeleitet.

Die Abgabe von Wärme durch den Heizdampf an das Kesselwasser ist nur möglich, wenn der Heizdampf eine höhere Temperatur hat als das Kesselwasser und damit auch der Betriebsdampf. Nun steigt bekanntlich mit wachsendem Druck auch die Siedetemperatur des Wassers. Soll die Temperatur des Dampfes in der Rohrschlange, die in der Trommel liegt,

höher sein als die Temperatur in der Trommel, so muß auch der Druck des Heizdampfes höher sein als der Druck in der Trommel. In den Rohrschlangen ist daher der Druck bis zu 20 at und mehr höher als der Betriebsdruck im Kessel.

Von den Feuerungen

Allgemeines

Für die Beheizung der Dampfkessel werden verschiedenartige Brennstoffe verwendet. Diese können fest, flüssig, gasförmig oder staubförmig sein, z. B. Steinkohle, Teeröl, Gichtgas, Kohlenstaub. Nach der Art des Brennstoffes müssen sich daher schon Unterschiede in der Form der Feuerung ergeben; denn es leuchtet ohne weiteres ein, daß Öl nicht in derselben Feuerung verbrannt werden kann wie Kohle. Man unterscheidet die Feuerungen nach der Art der Brennstoffe, also Feuerungen für feste Brennstoffe, Öl-, Kohlenstaub- und Gasfeuerungen. Bei den unterschiedlichen Dampfkesseln kann die Lage der Feuerung zum Kessel verschieden sein. Sie kann in dem Kessel untergebracht sein wie z. B. bei den meisten Flammrohrkesseln. In diesem Falle sprechen wir von Innenfeuerungen. Sie kann auch unter dem Kessel liegen, dann haben wir es mit einer Unterfeuerung zu tun. Bei manchen Kesseln finden wir die Feuerung auch vor dem Kessel, dann sprechen wir von Vorfeuerungen. Die Bauart des Kessels oder die Beschaffenheit des Brennstoffes (ob gasreiche oder gasarme Kohle) ist für die Anordnung der Feuerung von wesentlicher Bedeutung. Bei den Feuerungen für feste Brennstoffe, die auf einem Rost verbrannt werden müssen, unterscheidet man nach der Form des Rostes u. a. Planrost-, Schrägrost-, Treppenrost- und Wanderrostfeuerungen. Schließlich kann die Beschickung des Rostes von Hand, durch eine Schüttvorrichtung oder durch eine mechanische Einrichtung erfolgen. Man spricht daher von Handfeuerungen, Schüttfeuerungen und mechanischen Feuerungen.

Die Bestandteile einer Feuerung für feste Brennstoffe sind Rost, Verbrennungsraum, Aschenraum, Zugeinrichtung (Feuerzüge und Schornstein) und Bedienungsraum.

Der Rost hat den Brennstoff aufzunehmen und ihm die zur Verbrennung benötigte Luft zuzuführen. Daneben fällt ihm die Aufgabe zu, die Asche und die Schlacke aus dem Verbrennungsraum abzuführen. Die Zuführung der Luft muß nach Möglichkeit gleichmäßig über den ganzen Rost und die daraufliegende Brennschicht verteilt sein.

Der Verbrennungsraum hat die Aufgabe, die Brennstoffe, insbesondere die aus dem Brennstoff durch die Wärme frei gewordenen Gase, mit der zugeführten Luft durchzumischen und restlos zu verbrennen. Eine vollkommene Verbrennung ist notwendig, weil sonst die in den Brennstoffen enthaltenen Energien nicht voll ausgenutzt werden. Daher werden die Rauchgase auch laufend auf ihre Zusammensetzung untersucht.

Der Aschenraum, auch Aschfall genannt, dient zur Aufnahme und Ansammlung der bei der Verbrennung entstehenden Asche und anderer Herdrückstände.

Die Zugeinrichtung führt dem Rost die Verbrennungsluft zu, leitet die Rauchgase zu den Kesselwandungen und die Abgase ins Freie.

Der Bedienungsraum dient als Heizerstand; er muß vorhanden sein, damit der Heizer die Feuerung ordnungsmäßig bedienen kann.

Die Fläche eines Rostes in m² heißt die Rostfläche. Ist z. B. ein Rost 2,00 m lang und 1,32 m breit, so beträgt seine Rostfläche $R = 2{,}00 \cdot 1{,}32 = 2{,}64\,\text{m}^2$. Diese Fläche nennt man die Gesamtrostfläche. Im Gegensatz hierzu spricht man auch von der freien Rostfläche und bezeichnet damit die Fläche, die sich als Summe aller Rostspaltflächen ergibt. Die freie Rostfläche richtet sich nach der Stückgröße (Körnung) des Brennstoffes, seinem Verhalten bei der Verbrennung und nach seinem Gehalt an Gasen. Brennstoff mit vielen flüchtigen Bestandteilen und backender Brennstoff erfordern z. B. viel Luft, also große Rostspalten. Für einen feinkörnigen Brennstoff dagegen darf man naturgemäß keinen Rost mit allzu großen Rostspalten verwenden.

Die Rostbelastung oder Rostbeanspruchung, auch Brenngeschwindigkeit genannt, ist die Brennstoffmenge (in kg), die stündlich auf 1 m² Rostfläche verbrannt wird. Nehmen wir an, der Heizer habe in einer achtstündigen Schicht 1900 kg Kohle auf einer Rostfläche von 2,64 m² verfeuert, dann beträgt die Rostbelastung je Quadratmeter und Stunde $\frac{1900}{2{,}64 \cdot 8} \approx 90\,\text{kg/m}^2\text{h}$. Die Rostbelastung hängt ab von der Art der Feuerung, der Größe des Zuges und der Beschaffenheit des Brennstoffes. Mittlere Werte für die Rostbelastung sind aus folgender Übersicht zu ersehen (aus Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau, Bd. 2, S. 3; Berlin 1929).

Brennstoff	Schütthöhe in mm	Rostbelastung kg/m²h
Anthrazit	70—80	60—70
Koks	130—300	75—80
Gasarme Steinkohle	90—130	70—110
Gasreiche Steinkohle	90—130	90—120
Böhmische Braunkohle	130—200	120—180
Deutsche Braunkohle	200—300	170—380

Bei Anwendung künstlichen Zuges kann die Rostbelastung im allgemeinen gesteigert werden bis zu 500 kg/m²h. Bei minderwertigen Brennstoffen mit viel Kohlenstaub jedoch darf der künstliche Zug zur Erhöhung der Brenngeschwindigkeit nur bis zu einer bestimmten Höchstgrenze gesteigert werden. Diese Grenze ist gegeben durch den entstehenden Flugkoksverlust.

Die Bedeutung der Rostbeanspruchung im Betriebe ist aus den folgenden Beispielen zu erkennen.

1) Der Heizer kann trotz ordentlicher Feuerführung und obwohl der Zustand der Anlage einwandfrei ist, den Druck im Kessel nicht halten, d. h. den für die Maschine laufend benötigten Dampf nicht erzeugen. Die für diese Dampferzeugung erforderliche Brennstoffmenge kann also auf dem Rost bei normaler Feuerführung nicht verbrannt werden, der Rost ist zu klein. Man kann nun entweder einen größeren Rost einbauen oder einen besseren Brennstoff verfeuern, der bei der Verbrennung gleicher Mengen mehr Wärme erzeugt. Unter Umständen ist, wenn sonst nichts dagegenspricht, durch Zugverstärkung Abhilfe zu schaffen; denn dadurch nimmt die Brenngeschwindigkeit zu, man kann also je Stunde mehr Kohle verbrennen.
2) Es kann vorkommen, daß der Druck im Kessel zwar noch gehalten werden kann, daß aber bei der dabei notwendigen Höhe des Brennstoffes auf dem Rost aus dem Schornstein ein schwarzer Rauch emporsteigt. Auch dann ist die Rostbelastung zu groß. Durch die Feuerung gehen infolge der zu großen Schütthöhe unverbrannter Kohlenstoff und unverbrannte kondensierte Teerdämpfe mit hindurch. Der Betrieb arbeitet unwirtschaftlich. Man kann Abhilfe schaffen durch dieselben Mittel, die im vorigen Beispiel angegeben wurden.
3) Im Betriebe ergibt sich, daß die Höhe der Brennstoffschicht nur sehr klein gehalten werden darf, da sonst die Sicherheitsventile zum Abblasen gebracht werden. Es würde also bei normaler Schütthöhe zuviel Dampf erzeugt werden. In diesem Falle ist der Rost zu groß, die Rostbelastung zu gering. Man kann die Rostfläche dadurch verkleinern, daß man sie teilweise mit Schamottesteinen abdeckt, oder man baut einen kleineren Rost ein. Auch führt die Verwendung geringwertigen Brennstoffes, der je Kilogramm nicht so viel Wärme erzeugt, unter Umständen zum Ziel. (Man spricht von Brennstoffen mit niedrigerem und höherem Heizwert.) Die teilweise Abdeckung des Rostes ist deswegen vorteilhaft, weil sie wenig Arbeit und Kosten erfordert. Auch läßt sich die Rostfläche leicht wieder auf die ursprünglichen Ausmaße vergrößern. Dies Verfahren ist besonders günstig bei solchen Kesselanlagen anzuwenden, die im Winter mehr beansprucht werden als im Sommer. Bei dünner, niedriger Brennstoffschicht und stark gedrosseltem Zug würde sich, wenn der Rost zu groß ist, zwar auch der Kesseldruck in der geforderten Höhe halten lassen, aber in den Abgasen würde sich ein hoher Gehalt an unverbrannten Gasen vorfinden, die Temperatur im Feuerraum wäre niedrig, der Betrieb würde unwirtschaftlich arbeiten. Die für den jeweiligen Fall richtige Größe der Rostfläche muß sich durch die Erfahrung ergeben. Wie aus den Beispielen hervorgeht, kann sie um so kleiner sein, je hochwertiger der Brennstoff und je stärker der Zug ist.

Maßgebend für die Höhe der Brennstoffschicht ist in erster Linie die Stückgröße der Kohle. Ist die Kohle feinstückig, so ist der Widerstand,

den die Luft in ihr findet, groß, sie muß deshalb in verhältnismäßig niedriger Schichthöhe verbrannt werden. Grobstückige Kohle und grobstückiger Koks müssen dagegen in höherer Schicht verfeuert werden; denn diese Brennstoffe haben infolge ihrer Weiträumigkeit größere Hohlräume und sind daher luftdurchlässiger. Backende Kohle muß wiederum in niedriger Brennschicht verbrennen. Diese muß vor dem Beschicken aufgelockert werden.

Nachdem durch die in der Feuerung herrschende Temperatur die Brennstoffe getrocknet sind, die ihnen anhaftende Feuchtigkeit also verdampft ist, werden sie entgast, d. h. die in ihnen enthaltenen flüchtigen Bestandteile entweichen als Gase. Sie verbrennen mit mehr oder weniger langer Flamme (genügende Luftzufuhr natürlich vorausgesetzt). Dann verbrennen die zurückbleibenden festen Bestandteile. Sie verbinden sich an ihrer glühenden Oberfläche mit dem Sauerstoff der Verbrennungsluft, bis schließlich nur noch Asche und Schlacke zurückbleiben. Dabei würde, wenn kein neuer Brennstoff aufgeworfen würde, das Feuer allmählich dunkler werden und schließlich ganz erlöschen. Man darf daher das Feuer nicht zu weit herunterbrennen lassen, sondern muß dafür sorgen, daß stets eine gute, genügend hohe Grundglut bleibt. Diese muß die frisch aufgeworfene Kohle rasch zum Verbrennen bringen können. Im Betrieb müssen sich ununterbrochen Heizgase bilden.

Für die Regelung des Feuers ist der jeweilige Dampfverbrauch entscheidend. Sieht man am Manometer, daß der Kesseldruck fällt, so muß man durch öfteres Beschicken das Feuer verstärken und durch Aufziehen des Rauchschiebers die Brenngeschwindigkeit erhöhen. Dadurch wird erreicht, daß in der gleichen Zeit mehr Kohle verbrennt, mehr Wärme erzeugt wird und sich mehr Heizgase bilden. Damit steigt auch die Dampferzeugung. Ist der Druck zu hoch gestiegen oder wird weniger Dampf gebraucht, so verfährt man umgekehrt. Dieselbe Wirkung könnte man auch erreichen, wenn man durch Öffnen der Feuertüren kalte Luft in die Feuerung eindringen ließe. Dadurch wird die Feuerraumtemperatur zwar sofort stark herabgesetzt und das Ansteigen des Kesseldrucks verhindert. Durch den plötzlichen Temperaturwechsel können jedoch bei diesem Verfahren Schädigungen am Kessel (Blechrisse, undichte Nieten) hervorgerufen werden.

Die Planrostfeuerung

Die Planrostfeuerung läßt sich bei jedem Kessel einbauen und ist, besonders für kleinere Kesseleinheiten, stark verbreitet. Sie hat einen waagerechten oder leicht geneigten ebenen Rost und kann als Innen-, Unter- und Vorfeuerung ausgeführt sein. Auf diesem Rost läßt sich praktisch jeder feste Brennstoff verfeuern. Er besteht aus einer Anzahl von einzelnen Roststäben aus Gußeisen oder Stahl. Diese liegen hochkant nebeneinander und lassen zwischen sich für den Luftzutritt die Rostspalten frei. Zu diesem

Zweck sind sie an ihren Enden (Köpfen) seitlich verstärkt ausgeführt (Abb. 30); sie sind auf den Rostträgern oder Rostbalken aufgelagert.

Die Anforderungen, die an einen Rost gestellt werden müssen, sind folgende: Die Verbrennungsluft muß durch den Rost auf die gesamte Brennstoffschicht leicht und gleichmäßig verteilt zuströmen können. Die Rostspalten müssen so ausgeführt sein, daß durch sie keine unverbrannte Kohle, sondern nur die Asche in den Aschfall absinken kann. Auch soll nach Möglichkeit durch die Ausführung und Bauart der Roststäbe vermieden werden, daß die Schlacke auf dem Rost zusammenfließt. Im Interesse einer langen Lebensdauer sollen die Roststäbe haltbar sein, insbesondere nicht im Feuer verbrennen und krumm werden; und schließlich muß sich im Betriebe ein schnelles und bequemes Abschlacken des Rostes ermöglichen lassen.

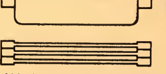


Abb. 30 Einfacher Planroststab

Abb. 31 Schlangenroststab

Abb. 32 Polygonroststab

Die am meisten verbreiteten Formen der Roststäbe sind der einfache Flachstab und der Schlangenroststab (Abb. 30 und 31). Diese beiden Bauarten genügen im allgemeinen den Betriebsanforderungen. Daneben gibt es noch eine Reihe von Roststabarten, deren Wesen darin besteht, daß sie dem Brennstoff die Verbrennungsluft durch kreuz und quer angebrachte Spalten zuführen. Eine solche Ausführung finden wir im sog. Polygonroststab (Abb. 32). Beim Polygon- und Schlangenroststab wird infolge der Zickzack- bzw. Schlangenform die Rostspalte länger; daher kann sie enger ausgeführt werden. Die freie Rostfläche ist dann genau so groß wie bei einem geraden Roststab mit weiteren Spalten. Die Weite der Rostspalten ist bedingt durch die Beschaffenheit des Brennstoffs. Damit der Rost nicht von der Schlacke angegriffen wird, muß er oben eine glatte und harte Bahn haben. Darum werden die Roststäbe aus Hartguß hergestellt (durch Gießen in gußeiserne Dauerformen).

Die Roststabhöhe muß über die ganze Länge des Stabes zwischen den Auflagern gleich sein, denn der Roststab benötigt zum Anwärmen der Luft und zu seiner eigenen Kühlung große seitliche Flächen. Falsch wäre es daher, wenn die Stabhöhe nach den Enden zu geringer würde (Abb. 33). Die gängigste Länge eines Roststabes beträgt 500 mm. Jedoch kommen auch kleinere Längen von 300 bis 400 mm bei dünnen Roststäben und größere bis zu 1000 mm bei sehr starken Roststäben vor. Die Breite der Roststäbe verjüngt sich nach unten (Abb. 30), weil die Rostspalten nach unten weiter werden müssen, damit das Durchfallen der Asche gewährleistet wird. Da die Roststäbe hohen Temperaturen ausgesetzt sind und

sich infolgedessen ausdehnen, müssen sie genügend Spielraum haben. Sonst liegt die Gefahr nahe, daß sie krumm werden. Sie haben daher vielfach nur ein hakenförmiges Ende und sind auf der anderen Seite abgeschrägt ausgeführt (Abb. 34). Wird der Rost von Hand beschickt, so macht man ihn nicht über 2 m lang. Sonst würde das Beschicken, das Abschlacken und die Übersichtlichkeit der Feuerung zu sehr erschwert. Der Rost ist etwa 80 cm über dem Heizerstande angebracht, da er in dieser Höhe am bequemsten zu bedienen ist. In den meisten Fällen gibt man dem Rost nach hinten etwas Gefälle, da dies zur besseren Bedienung und Übersichtlichkeit dient. Bei Innenfeuerungen kann die Neigung geboten erscheinen, weil sonst der Raum über der Feuerbrücke zu sehr eingeengt würde. Die Neigung dient gleichzeitig zur Vergrößerung des ohnehin beengten Feuerraumes. Der Aschfall darf aber dadurch nicht zu sehr verkleinert werden, weil sonst das bequeme Entfernen der Asche und Schlacke beeinträchtigt und unter Umständen der Durchtritt der Luft durch den Aschfall erschwert wird. Im Betrieb ist darauf zu achten, daß die Roststäbe nach Möglichkeit geschont werden, da die Erneuerung der Roste verhältnismäßig große Ausgaben verursacht. Ein solcher vorzeitiger Verschleiß kann erfolgen durch Stauhitze, die sich infolge Verschlackens des Feuers bildet oder auch dadurch entsteht, daß bei vollem Feuer der Rauchschieber heruntergelassen wird. In diesen Fällen hört die Kühlung des Rostes durch die von unten durchströmende Verbrennungsluft auf, die Stäbe werden glühend, verbrennen und verziehen sich, es bilden sich ungleichmäßig weite Rostspalten, und es fällt sehr viel unverbrannte Kohle in den Aschfall, was einen weiteren wirtschaftlichen Verlust bedeutet. Auch das Abschlacken wird auf einem solchen Rost schwieriger.

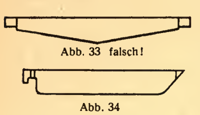


Abb. 33 falsch!

Abb. 34

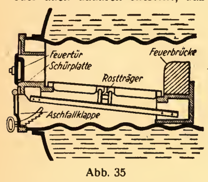


Abb. 35

Vor dem Rost ist die Schürplatte (Abb. 35) angebracht. Sie ist etwa 25 cm lang und 20 mm dick. Sie dient dem Heizer als Auflage für Schüreisen und Schaufel. Ihre Aufgabe ist, die Feuertür, das Feuergeschränk und die Flammrohrausha1sungen, die vom Kesselwasser nicht gekühlt werden, vor zu starker Erhitzung zu schützen. Sie dient auch zur Beschikkung und manchmal auch zum Trocknen und Verschwelen des Brennstoffes. Sie darf nur so lang sein, daß der hintere Teil des Rostes noch bequem zu bedienen und zu übersehen ist.

An die Schürplatte schließt sich nach vorn das Feuergeschränk an. Es besteht aus einer gußeisernen Vorsetzplatte (15 bis 20 mm stark) mit Öffnungen für die Feuertür und die Aschfallklappe. Die Feuertür muß gut schließen, ihre Anliegeflächen müssen daher gut bearbeitet sein. Das ist notwendig, damit in den Betriebspausen keine Luft durch die Tür nachgesaugt wird. Auch fällt sie infolge geringen Schrägstellens der Drehachsen von einer bestimmten Stellung an von selbst zu. Da die Wärmestrahlung des Feuers sehr groß ist, versieht man die Feuertür auf der Innenseite entweder mit einem Schutzschirm, oder sie wird doppelwandig ausgeführt und mit Öffnungen versehen, durch die Luft strömt, die den Hohlraum ständig kühlt. Diese Luft dient gleichzeitig als sog. Zweitluft oder „Sekundärluft" zur Verbrennung der über dem Brennstoff freiwerdenden Gase. Um dem Heizer die Möglichkeit zu geben, das Feuer zu beobachten, werden in der Tür Schaulöcher oder Rosetten angebracht.

Nach der anderen Seite schließt die Feuerbrücke den Feuerraum und den Rost ab. Sie wird in feuerfesten Schamottesteinen ausgeführt und überragt die Rostfläche um rund 300 mm. Durch das eiserne Untergestell, auf dem sie ruht, wird bei der Planrostinnenfeuerung zugleich der Aschfall hinten abgeschlossen (Abb. 35). Ihre Aufgabe besteht einmal darin, zu verhindern, daß beim Beschicken des Rostes und beim Schüren des Feuers Brennstoff oder Schlacke über den Rost hinweg in das Flammrohr fällt. Sodann wird durch die Feuerbrücke der Zugquerschnitt verengt, die Heizgase werden beschleunigt. Die Flamme wird dadurch langgezogen und über die Kesselwandungen besser verteilt. Es erfolgt eine gute Wirbelung und Mischung des Brennstoffes mit Luft und damit eine möglichst vollkommene Verbrennung. Die Feuerbrücke dient weiterhin dem Zwecke, Wärme aufzunehmen und durch Abgabe derselben die darüber hinstreichenden Gase zur Entzündung zu bringen. Sie wird auch als Heißluftfeuerbrücke gebaut (Abb. 36).

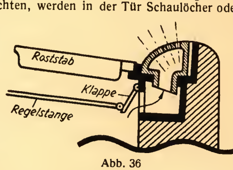


Abb. 36

In diesem Falle soll durch sie Zweitluft zwecks besserer Verbrennung der Gase in den Feuerraum geleitet werden. Eine Vorwärmung der Luft erfolgt beim Durchströmen des Aschenraumes. Man erreicht durch diese regelbare Zweitluftzuführung eine wirtschaftlich günstige, rauchschwache Verbrennung.

Schrägrostfeuerungen

Die Schrägrostfeuerungen werden als Vor- und Unterfeuerungen ausgeführt. Die Bauart des Rostes kann dabei verschieden sein. Man unterscheidet den Schrägrost, den Treppenrost und den Knickrost (Abb. 37

bis 39). Das Merkmal der Schrägroste ist, daß die Rostfläche eben und stark geneigt ist, etwa unter einem Winkel von 40 bis 50°. Die Treppenrostfeuerung hat einen treppenähnlich ausgeführten Rost. Der Rost der Knickrostfeuerung ist oben stark geneigt und weist einen Knick auf. Bei allen drei Arten läßt sich die Neigung durch eine Stellschraube ändern, da die erforderliche Neigung von dem Böschungswinkel des Brennstoffes abhängig ist. Dadurch wird ein Nachrutschen des Brennstoffs entsprechend dem Abbrand erreicht. Die Zuführung des Brennstoffes ist je nach der Art des Betriebes regelbar. Am oberen Ende des Rostes ist ein eiserner, trichterförmiger Kasten angebracht; in diesen wird der Brennstoff geschüttet und kann je nach Bedarf durch Öffnen eines Schiebers der Feuerung zugeführt werden. Vielfach bildet ein Planrost, den man Fang- oder Ausbrenn-

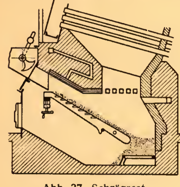


Abb. 37 Schrägrost

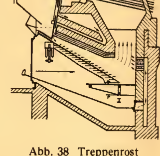


Abb. 38 Treppenrost

rost nennt, den Abschluß nach unten. Auf ihm soll der etwa heruntergerutschte Brennstoff vollständig durchbrennen und die Asche und Schlacke sich ansammeln. Die Schrägrostfeuerungen werden eingebaut vor Flammrohrkesseln, ausziehbaren Röhrenkesseln, bei Schrägrohr- und Steilrohrkesseln.

Der Schrägrost besteht wie der Planrost aus einer Anzahl von hochkant nebeneinander liegenden Roststäben (Abb. 40). Durch Betätigung der Stellschraube kann das Vorrücken des Brennstoffes nach den jeweils verlangten Betriebsverhältnissen geregelt werden. Die Roststäbe sind 1 bis 2 m lang. Sie lagern unten auf einem Rund- oder T-Eisen oder auf einem Rohr. Das obere Ende liegt gewöhnlich auf der Schürplatte auf oder ruht ebenfalls auf einem Rundeisen (Abb. 40b). Im oberen Teil des Rostes sind die Rostspalten vielfach enger ausgeführt als unten, um zu verhindern, daß kleine Stücke der Kohle durch den Rost fallen. Auch versieht man die Stäbe zu diesem Zweck mit stufenförmigen Ansätzen am oberen Ende (Abb. 40b). Gleichzeitig erreicht man durch diese Bauart eine bessere Kühlung der Stäbe, da diese am unteren Ende unter der Wärme am meisten zu leiden haben, und hier die Gefahr des Abbrennens besteht.

Der Treppenrost ist wie der Schrägrost für Schütteinrichtungen gebaut. Die einzelnen Roststäbe sind aus Grauguß hergestellt, liegen aber nicht hochkant, sondern waagerecht wie die Stufen einer Treppe in Seitenwangen auf Ansätzen stufenförmig übereinander (Abb. 41). Die Luftspalten sind daher nicht senkrecht, sondern waagerecht (Abb. 38). Ein Hindurchfallen des Brennstoffes ist also hier nicht möglich. Der Treppenrost ist etwa 2 bis 2,5 m lang und bis zu 5 m breit. Die einzelnen Platten sind etwa 500 mm lang, 150 mm breit und 8 bis 12 mm stark. Die waagerechten Spalten sind 20 bis 30 mm weit. Um das Herabfallen des Brennstoffes zu beschleunigen, sind die Stufen vielfach nach vorn etwas geneigt. Die Neigung der Seitenwangen beträgt etwa 30° und läßt sich verstellen. Der Fangrost am unteren Ende ist etwa 500 mm lang.

Bei der Knickrostfeuerung (Abb. 39) zeigt der obere Rost eine starke Neigung. Er wird abgeschlossen durch einen verstellbaren Schieber (*a*). Der Raum zwischen Schütttrichter und Schieber ist der Schwelraum oder die Schwelkammer (*b*). Dahinter ist ein Wehr (*c*) angeordnet. Zwischen

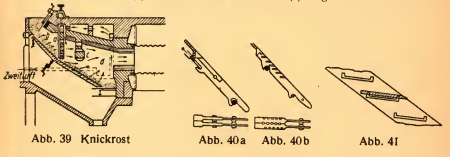


Abb. 39 Knickrost Abb. 40a Abb. 40b Abb. 41

Schieber und Wehr befindet sich ein Mischraum. Dann folgt der Verbrennungsraum (*d*) und unten als Begrenzung ein Fangrost. Die Kohlen, die in dicker Schicht auf den Steilrost geschüttet werden, verschwelen in der Schwelkammer und werden dort entgast. In dünner Schicht gelangt dann der Brennstoff auf den flacher geneigten Rost, auf dem er unter ständigem Abbrennen allmählich herabsinkt. Die Regelung der Brennstoffzufuhr erfolgt durch den Schieber *a*. Die Schwelgase verbrennen in dem kleinen Mischraum und im Verbrennungsraum.

Für die Schrägroste eignet sich als Brennstoff gleichmäßig gekörnte Steinkohle, die keine flüssige Schlacke liefert. Schlackende und backende Brennstoffe eignen sich nicht. Bei der Treppenrostfeuerung kann man fast jeden Brennstoff verwenden, jedoch darf der Heizwert nicht zu hoch sein. Denn wegen der großen Angriffsflächen der Rostplatten würden diese wegen der starken Wärmeentwicklung in kurzer Zeit zerstört werden. Auf der Knickrostfeuerung werden vorwiegend Braunkohlen verfeuert. Diese Feuerung führt auch den Namen Halbgasfeuerung (Braunkohle ist sehr gasreich). Die Korngröße des Brennstoffes muß bei den Schrägrosten möglichst gleichmäßig sein, weil sonst größere Stücke sofort nach unten

rollen und kleinere durch den Rost hindurchfallen. Man baut daher Siebe in den Trichterschacht ein, um die großen Stücke zurückzuhalten. Nach der Siebung im Trichterschacht wird der Brennstoff einem Schütttrichter am Anfang der Feuerung zugeführt. Der Brennstoff gleitet allmählich nach unten, wird getrocknet, entgast, entzündet und verbrannt. Durch Zuführung erwärmter Zweitluft wird eine fast rauchfreie Verbrennung erzielt. Dadurch wird der Brennstoff bei guter Regelung der Brennstoff- und Luftzufuhr ausgiebig ausgenutzt. Bei der Beschickung muß darauf geachtet werden, daß keine Lücken entstehen; denn sonst bekommt man eine falsche Luftzuführung und erzielt eine schlechte Verbrennung.

Die Bedienung der Schrägrostfeuerungen ist einfach, weil durch einen Schütttrichter der Brennstoff selbsttätig zugeführt wird. Mann kann bei diesen Feuerungen große Rostflächen und Verbrennungsräume ausführen. Daher werden sie vielfach verwendet. Die Dampferzeugung kann infolge der großen Rostflächen schnell erfolgen, und die Erwärmung des Kessels geht gleichmäßig vor sich. Dadurch wird die Gefahr des Undichtwerdens an den zusammengefügten Stellen des Kessels wesentlich herabgemindert. Die selbsttätige Beschickung ermöglicht eine leichtere Arbeit für den Heizer, eine Verminderung der Rauchentwicklung und gute Brennstoffausnutzung. Die Verbrennung wird durch eine starke Erhitzung der Mauerwerkswände begünstigt. Die Heizgase haben eine hohe Temperatur in dem verhältnismäßig großen Verbrennungsraum. Bei der Treppenrostfeuerung ist ein Durchfallen des Brennstoffes durch den Rost unmöglich. Daher eignet diese sich gut für Brennstoffe, die leicht zerfallen und viele staubförmige Bestandteile enthalten, sie ist gut für Braunkohle zu verwenden. Sie eignet sich auch für Verbrennung von Steinkohle mit geringem Heizwert, für Staub- und Gruskohlen, Abfall und Sägespäne. Durch die Regelungsmöglichkeit der Rostneigung und Schütthöhe kann je nach den Betriebsverhältnissen eine gleichmäßige und ununterbrochene Brennstoffzufuhr erreicht werden. Es entstehen keine unbedeckten Stellen auf dem Rost.

Die Nachteile dieser Feuerungen bestehen in folgendem: Backende Brennstoffe kann man nicht verfeuern. Gegenüber der Innenfeuerung sind die Strahlungsverluste größer infolge der großen Mauerwerksflächen. Die Anlagekosten sind bei den Vorfeuerungen höher, da sie einen besonderen Raum vor dem Kessel erfordern. Verfeuert man Kohle mit hohem Heizwert, kann das Mauerwerk schnell zerstört werden. Dadurch entstehen größere Ausbesserungskosten. Die Feuerung wird dann teuer in der Unterhaltung.

Wanderrostfeuerungen

Da mit der Entwicklung der Technik die Kesselanlagen und Kesselleistungen immer größer wurden, mußten damit auch die pro Stunde verfeuerten Brennstoffmengen entsprechend zunehmen. Das bedingt aber gleichzeitig eine Vergrößerung der Rostfläche, da die erzeugbare Dampf-

menge von der Größe der Rostfläche abhängt. Sollen z. B. in einem Steilrohrkessel je Stunde 12000 kg Dampf erzeugt werden und verfeuert man eine Steinkohle, mit der je kg 7 kg Wasser verdampft werden können, so sind für den Betrieb dieses Kessels $\frac{12000}{7} = 1714$ kg Kohle je Stunde erforderlich. Beträgt nun die Rostbelastung 110 kg/m²/h, so ist hierfür eine Rostfläche von $\frac{1714}{110} = 15{,}6$ m² erforderlich. Es leuchtet ohne weiteres ein, daß eine derartige Rostfläche weder von Hand noch mit mechanischen Wurfvorrichtungen beschickt werden kann.

Die Ausbildung großer Rostflächen und das Bestreben, die in Bergwerken anfallende kleinstückige Kohle vorteilhaft ausnutzen und verbrennen zu können, haben mit zur Einführung der Wanderroste geführt.

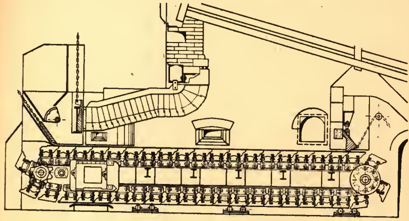


Abb. 42 Bündelwanderrost

Denn diese eignen sich für große Kesselleistungen und zur Verfeuerung der meisten feinkörnigen Kohlensorten. Sie sind daher bei Großbetrieben weit verbreitet.

Der Wanderrost ist ein sich bewegender Planrost; ein endloses Band aus kurzen Roststäben, das, durch einen Motor angetrieben, langsam umläuft, bildet die ebene Rostfläche. Die einzelnen Roststäbe aus Gußeisen oder Stahl sind bei der älteren Ausführung, dem Kettenrost, gegeneinander versetzt, auf runde Eisenstäbe so aufgeschoben, daß sie über die ganze Breite des Rostes Kettenglieder bilden (Abb. 43). Auf zwei kräftigen Wellen sitzen Kettenräder, deren Zähne in die Kettenglieder eingreifen. Eine der Wellen ist verschiebbar gelagert, damit der Rost nachgespannt werden kann. Um ein Durchhängen zu verhindern oder abzuschwächen, läßt man den Rost über Stützrollen laufen. Die Stäbe müssen so lose aufgeschoben sein, daß ein Festklemmen infolge der Ausdehnung durch die Wärme nicht stattfindet, sie müssen jedoch immer die richtige Lage beibehalten. Im Betriebe ist es schwierig und zeitraubend, die Roststäbe

auszuwechseln, wenn sie schadhaft geworden sind. Die Verwendung des Kettenrostes ist daher in neuzeitlichen Betrieben nicht mehr angebracht. Statt dessen verwenden wir heute den besseren Bündelwanderrost (Abb. 42), der im allgemeinen dem Kettenrost gleicht. Jedoch bilden die Kettenglieder als Rostkettenelement einen Teil für sich (Abb. 44). Winkel- oder Wulsteisen, die an die Kettenglieder angenietet sind, dienen zur Aufnahme der Rostplatten. Die Rostplatten sind lose auf die Führungsleisten der Winkeleisen aufgeschoben und können ohne lange Unterbrechung des Betriebes am vorderen Ende der Feuerung bequem ausgewechselt werden.

Durch ein Zahnradgetriebe läßt sich die Rostgeschwindigkeit ändern und den jeweiligen Betriebsanforderungen anpassen. Der Brennstoff wird durch einen Schütttrichter über die ganze Breite des Rostes aufgegeben. Die Höhe der Brennstoffschicht wird vor dem Eintritt der Kohle in den Verbrennungsraum durch einen Brennschichtschieber geregelt (Abb. 42). Die Kohle wird beim allmählichen Vorrücken des Wanderrostes durch die

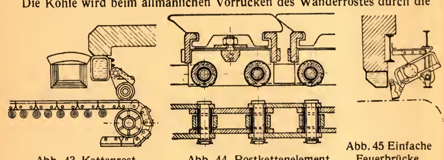


Abb. 43 Kettenrost

Abb. 44 Rostkettenelement

Abb. 45 Einfache Feuerbrücke

heißen Wände des Mauerwerks getrocknet und entgast. Die Gase entzünden sich, und die festen Bestandteile verbrennen auf dem Rost. Am hinteren Ende des Rostes fallen die Rückstände in einen Schlackentrichter. Um so weit wie möglich zu verhindern, daß brennbare Bestandteile den Rost unverbrannt verlassen, und um gleichzeitig die ganze Rostlänge ausnutzen zu können, baut man Schlackenstauvorrichtungen wie Schlackenabstreifer und Staupendel ein, an denen sich der Brennstoff staut und ausbrennt (Abb. 42, 43 und 45). Sie bilden mit der Feuerbrücke den hinteren Abschluß des Verbrennungsraumes und verhindern das Eindringen falscher Luft. Die wassergekühlte Feuerbrücke (Abb. 45) soll den angestauten Rückständen die Wärme entziehen und so die starke Werkstoffbeanspruchung herabmindern.

Besonders sorgfältig muß die seitliche Abdichtung der Rostbahn gegen die Feuerraumwände ausgeführt sein, um den Eintritt von Falschluft zu vermeiden. Das Eindringen der Falschluft kann sich schädlich auf die Verbrennung und die Haltbarkeit des Rostes auswirken. Beim einfachen Wanderrost wird die Luft am vorteilhaftesten von vorn zugeführt. Bei dieser Zuführung kühlt die Luft den rückkehrenden Teil des Rostes und erwärmt sich.

Wird der Rost, der für eine bestimmte Normalleistung gebaut ist, bei geringerem Dampfbedarf nicht voll ausgenutzt, so kann es vorkommen, daß die Rostfläche, besonders der letzte Teil, nicht mehr voll bedeckt ist; und auch wenn die Rostbahn noch bedeckt ist, wird die Schicht auf dem letzten Teil des Rostes dünner und der Luftbedarf geringer. Dadurch würde an dieser Stelle zuviel Luft durch den Rost dringen. Wegen des großen Luftüberschusses würde der Brennstoff schlecht ausgenutzt und die Wirtschaftlichkeit des Betriebes stark herabgemindert werden. Daher baut man Vorrichtungen ein, die es ermöglichen, den Rost an den Stellen ganz abzudecken, an denen keine Luft eindringen soll, oder dort, wo weniger Luft benötigt wird, die Luftzufuhr zu vermindern. Man erreicht dies dadurch, daß man die ganze Rostlänge in Luftkammern einteilt, die gut gegeneinander abgeschlossen sind. Durch diese tritt die Luft den jeweiligen Erfordernissen entsprechend ein. Diese Zonenwanderroste haben sich bei schwankender Belastung gut bewährt und sind sehr leistungsfähig. Ihr großer Vorteil gegenüber dem einfachen Wanderrost liegt in der Möglichkeit, daß man einen Teil des Rostes abschalten kann. Man kann die Luft dahin leiten, wo sie nötig ist und vermeidet dadurch einen zu großen Luftüberschuß. Ein weiterer Vorteil liegt in der Möglichkeit, leicht von einem Brennstoff auf einen anderen übergehen zu können. So benötigt z. B. eine gasreiche Kohle auf dem vorderen Teil des Rostes bei der Verbrennung der frei werdenden Gase mehr Luft als ein gasarmer Brennstoff, der den größten Teil der Verbrennungsluft erst später braucht. Mit dem Zonenwanderrost läßt sich die Luftzuführung so regeln, daß sie den jeweiligen Bedürfnissen genügt.

Eine erhebliche Steigerung der Leistung ist durch Zuführung von Unterwind zu erreichen. Notwendig ist der Unterwind bei der Verfeuerung von minderwertiger oder feinkörniger Kohle. Der Rost muß bei Zuführung von Unterwind nach außen hin dicht abgeschlossen sein.

Als Brennstoff ist bei Wanderrosten besonders ein solcher geeignet, der keine fließende Schlacke bildet und nicht zu rein ist. Es eignet sich Grieß- und Steinkohle bis zur Faustgröße. Wegen des gleichmäßigen Abbrandes muß die Kohle nach gleicher Korngröße sortiert werden. Ein Asche- und Rückständegehalt ist vorteilhaft, damit das Ende des Rostes genügend bedeckt bleibt.

Die Vorteile der Wanderrostfeuerungen liegen einmal in der selbsttätigen Beschickung und Entschlackung. Man kann ferner die Rostgeschwindigkeit den Betriebserfordernissen anpassen und erreicht dadurch eine möglichst vollkommene Verbrennung bei nur geringem Luftüberschuß. Die Beanspruchung des Rostwerkstoffes ist nicht so groß wie bei anderen Rostarten, da die eine Hälfte immer außerhalb des Feuerraumes liegt und etwas abkühlt. Ohne Schwierigkeit lassen sich beliebig große, allen Anforderungen gerecht werdende Rostflächen (von 30 m² und mehr) herstellen. Der Feuerraum kann hoch ausgeführt werden; dadurch läßt sich eine gute Verbrennung der Gase erzielen, und es wird eine übergroße Beanspruchung des Mauerwerks und des Kesselwerkstoffes vermieden. Da

die Wanderrostfeuerung als Unterfeuerung gebaut wird, beansprucht sie im Verhältnis zu ihrer Leistungsfähigkeit keinen großen Raum. Sie ist leicht zu bedienen und ermöglicht eine rauchschwache oder rauchfreie Verbrennung. Man kann stark feuern und die Kesselleistung hochtreiben. Auch gestattet sie die Verwendung minderwertiger Brennstoffe. Trotz der hohen Anlage- und Unterhaltungskosten hat die Wanderrostfeuerung große Verbreitung gefunden.

Kohlenstaubfeuerungen

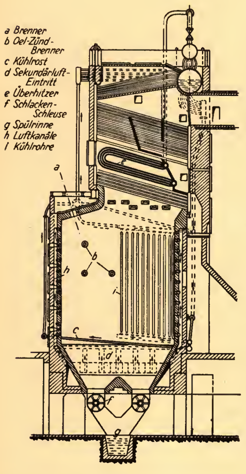


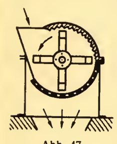
Abb. 46
Wasserrohrkessel mit Kohlenstaubfeuerung

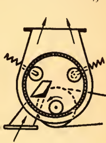
Die Kohlenstaubfeuerung wurde kurz nach 1900 eingeführt und hat mit den Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Sie ist unabhängig von Art und Beschaffenheit des Brennstoffes, da die Kohle vor der Verbrennung zu Staub gemahlen wird. Daher kann man auch die staubförmigen Anfälle der Kohlenzechen, die sich auf dem Rost nicht verfeuern lassen, nutzbringend verwerten, und aus diesem Grundgedanken ist die Feuerung erwachsen.

Der Kohlenstaub wird mit Hilfe von Brennern in einer Brennkammer (Abb. 46) verbrannt. Die Entzündung erfolgt während des Betriebes durch die von den heißen Wänden des Feuerungsraumes ausgestrahlte Hitze. Zur Inbetriebnahme verwendet man besondere Gas- oder Ölbrenner, die in das Mauerwerk eingebaut sind. Diese werden abgeschaltet, sobald in der Brennkammer die nötige Entzündungstemperatur herrscht.

Der betriebsfertige Kohlenstaub wird in besonderen

Mahlanlagen hergestellt. Diese sind meistens unmittelbar bei der Kesselanlage aufgestellt. Enthält die Rohkohle noch grobe Stücke, so muß sie erst in besonderen Brechern zerkleinert werden. Bei größerem Feuchtigkeitsgehalt ist vor der Vermahlung noch eine Trocknung notwendig. Das Trocknen erfolgt in Drehrohren (Trommeltrockner). Die Wärme hierfür wird durch Abdampf oder Abgase geliefert. Ist der Feuchtigkeitsgehalt nur gering, so kann von einer vorherigen Trocknung abgesehen werden. Die Grenze liegt bei Steinkohlen bei 3%, bei Braunkohlen bei 12% Feuchtigkeitsgehalt. Die Trommeltrockner werden zweckmäßig oberhalb der Mühlen angebracht. Dadurch spart man Fördereinrichtungen zwischen dem Trockner und den Mühlen. Die Vermahlung erfolgt entweder in Zentral- oder Einzelmahlanlagen. Im ersten Falle wird der Kohlenstaub für den ganzen Betrieb in einer einzigen Anlage hergestellt. Er wird dann in Bunker geleitet und mit besonderen Pumpen von dort den einzelnen Feuerungen als Verbrauchsstellen zugeführt. Handelt es sich um eine Einzelmahlanlage, so hat jede Verbrauchsstelle eine eigene Mahleinrichtung. Dabei wird der Kohlenstaub sogleich in den Brennraum geblasen. Höchstens wird ein kleiner Vorratsbunker eingebaut. In neuerer Zeit ist man mehr zu den Einzelmahlanlagen übergegangen. Wird der Kohlenstaub nicht am Verbrauchsort, sondern bei der Grube hergestellt, so sind zum Transport besondere Wagen erforderlich. Wegen der Transportschwierigkeiten wird aber die Mahlanlage in der Regel im Betrieb untergebracht.


Abb. 47
Schnelläufer


Abb. 48
Langsamläufer

Die Mühlen, von denen es verschiedene Ausführungen gibt (Abb. 47 und 48), kann man in zwei Gruppen einteilen: Schnelläufer und Langsamläufer. Bei den Schnelläufern wird die Kohle durch einen schnell umlaufenden Läufer gegen die feststehende Mahlbahn geschleudert und zerquetscht. Bei den Langsamläufern läuft die Mahlbahn um. Die Kohle wird durch Federrollen gegen die Mahlbahn gedrückt und so zerkleinert. Die Schnelläufer sind zwar billiger, jedoch für harte Kohlensorten ungeeignet. Langsamläufer zeichnen sich durch größere Betriebssicherheit und geringeren Verschleiß aus. Die Anlagekosten sind jedoch höher. Die Mahlfeinheit des Kohlenstaubes mißt man nach dem Rückstand auf feinmaschigen Sieben. Im Gebrauch ist das Normsieb Nr. 70 mit 4900 Maschen je cm^2 $(70 \cdot 70)$ und für größere Rückstände das Normsieb Nr. 30, das 900 Maschen je cm^2 besitzt. Für die Feinheit des Staubes gilt: Der Rückstand soll auf dem Normsieb Nr. 70 bei Braunkohlenstaub nicht mehr als 30 bis 40%, bei gasreichem Steinkohlenstaub nicht

über 15 bis 18% und bei gasarmem Steinkohlenstaub höchstens 10 bis 12% betragen.

Je größer die Mahlfeinheit ist, desto größer ist auch der Kraftbedarf der Mühlen. Daher wird es unwirtschaftlich, wenn man die Feinheit des Kohlenstaubes allzu weit treibt, obwohl eine möglichst große Feinheit für die Verbrennung günstig ist. Der Brennstaub muß um so feiner gemahlen sein, je gasärmer die Kohle und je größer der Aschengehalt ist.

Nach der Vermahlung findet eine Sichtung des Kohlenstaubes statt, d. h. eine Absonderung der groben Teile.

Die Beschickung ist einfach. Der Kohlenstaub wird durch Zuteiler, das sind Transportschnecken im Gehäuse, gefördert und der Feuerung zugeführt (Abb. 49). Die Transportschnecke ist unmittelbar vor dem Brenner eingebaut. Der Brennstoff wird am Ende der Schnecke auf dem ganzen Umfang durch einen Mischkegel in die kreisringförmig ausströmende Luft gestreut und mit ihr weitgehend gemischt. Diese Luft ist gar nicht oder nur wenig vorgewärmt. Die Zuteiler werden mittels einer gemeinsamen Antriebswelle durch einen Motor angetrieben. Ihre Drehzahl läßt sich zwecks Regelung der Brennstoffzufuhr je nach der geforderten Kesselanstrengung weitgehend ändern (feine Regelung). Die Brenner können in die Decke der Brennkammer eingebaut sein und den Kohlenstaub senkrecht nach unten einblasen, oder sie sind an den Wänden angebracht und blasen den Brennstoff waagerecht oder schräg ein. Bei Belastungsänderungen können auch einzelne Zuteiler und Brenner zu- oder abgeschaltet werden (grobe Regelung). Dazu wird auch die Luftmenge entsprechend geregelt. Die Temperatur im Brennraum sinkt hierbei mit der Verringerung der Brennstoffzufuhr rasch ab, und bei kleiner Belastung, etwa einem Viertel der Vollast, reißt die Flamme des Feuers ab. Die untere Belastungsgrenze liegt daher ziemlich hoch im Gegensatz zu den Rostfeuerungen. Bei Großkesseln sind mehrere Brenner eingebaut; so hat z. B. das Großkraftwerk Klingenberg für jede Feuerung 10 Brenner. Die Brenner müssen so angeordnet sein, daß die Flammen nicht unmittelbar auf das Mauerwerk auftreffen.

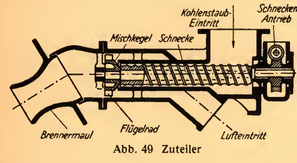


Abb. 49 Zuteiler

Die gesamte Verbrennung, d. h. die Entgasung des Brennstoffes, die Entzündung und Verbrennung der flüchtigen Bestandteile und der des entgasten Brennstoffes erfolgt in der Schwebe, die Brennzeit des einzelnen Staubkornes ist daher sehr kurz. Daraus ergibt sich, daß der Kohlen-

staub sehr fein gemahlen sein muß, und zwar um so feiner, je gasärmer die Kohle ist. Denn in diesem Falle bleibt nach der Entgasung mehr fester Brennstoff zu verbrennen übrig als bei gasreicher Kohle; die Gase verbrennen aber bekanntlich schneller als der feste Kohlenstoff. Nach der Mischung mit der Erstluft im Brenner wird dem Kohlenstaub in der Brennkammer Zweitluft zugeführt, die durch besondere Öffnungen des Brennraumes (Abb. 46) eintritt und zweckmäßig auf etwa 400° vorgewärmt wird.

Bei der Kohlenstaubfeuerung kommt man wegen der guten Durchmischung des Brennstoffes mit der Luft mit einem geringen Luftüberschuß aus und erreicht eine hohe Verbrennungstemperatur; denn bei hohem Luftüberschuß wird ein Teil der Verbrennungswärme an die überschüssige Luft abgegeben und durch diese abgeleitet. Bei der Kohlenstaubfeuerung entstehen im Brennraum Temperaturen von über 1500°. Aus diesem Grunde muß man dafür sorgen, daß das Mauerwerk nicht zu sehr angegriffen wird. Man kleidet daher die Brennkammer bei großen Anlagen teilweise mit Wasserrohren aus (Abb. 46). Diese nehmen die Strahlungswärme des Feuers auf. Dadurch wird das Schamottemauerwerk vor der hohen Temperatur geschützt. Diese Kühlrohre stehen mit dem Kreislauf des Kesselwassers in Verbindung. Sie tragen zur Dampferzeugung erheblich bei und sind durch Fallrohre an der Außenseite der Anlage mit dem unteren Teil des Kessels und durch Steigrohre mit den Oberkesseln zwecks Abführung des Dampfes verbunden. Manchmal wird der Wasserumlauf auch durch Pumpen betätigt. Zur Kühlung der nicht mit Wasserrohren versehenen Wände dienen Luftkanäle. In der Vorderwand sind gewöhnlich noch Öffnungen angebracht, die durch Klappen zu verschließen sind. Durch diese kann von außen her noch zusätzliche Verbrennungsluft in den Brennraum gelangen. Diese Beiluft bewirkt eine gute Durchmischung.

Asche und Schlacke fallen aus der Flamme aus. Die Schlacke muß sich leicht aus dem Feuerraum entfernen lassen. Das kann durch den Einbau eines Kühlrostes erreicht werden, dessen wassergefüllte Rohre ebenfalls an den Kessel angeschlossen sind. Die Schlacke wird durch die Wirkung des Kühlrostes körnig und fällt zwischen den Rostrohren hindurch in den Schlackentrichter.

Als Brennstoff kann jede Kohle verwendet werden. Vorteilhaft sind alle Kohlensorten, die sich auf Rosten nur mit Schwierigkeiten verfeuern lassen und deren Verwendung dabei unwirtschaftlich ist. Diese Kohlensorten sind im allgemeinen billig im Preis. Die Kosten, die durch die Vermahlung zusätzlich entstehen, sind daher für den gesamten Brennstoffpreis noch tragbar, ohne daß die Wirtschaftlichkeit in Frage gestellt wird. Ist die Kohle gasreich, so hat das den Vorteil, daß sie sich leichter in der Feuerung entzünden läßt. Der aus Braunkohle gemahlene Staub läßt sich in der Nähe der Gruben wegen des hohen Gasgehaltes und des billigen Preises für die kcal gut verwenden.

Da der Kohlenstaub sich beim Bunkern leicht selbst entzündet und mit Kohlenstaub erfüllte Luft explosionsgefährlich ist, so müssen die Transportschnecken, Rohrleitungen usw. staubdicht sein. In den Räumen, in denen die Mühlen arbeiten, dürfen keine offenen Flammen brennen. Auch gelten für die elektrischen Anlagen besondere Sicherheitsbestimmungen.

Die Vorteile der Kohlenstaubfeuerung bestehen in folgendem: Im Betriebe sind die Leistungen höher als bei Rostfeuerungen. Dazu kommt, daß das Feuer durch bequeme Betätigung des Zuteilers leicht geregelt werden kann. Die Feuerung ist sehr elastisch, sie gestattet ein schnelles Anheizen und ermöglicht eine schnelle Leistungssteigerung. Daher brauchen in Großbetrieben weniger Kessel in Bereitschaft gehalten zu werden, und die durch die Bereitschaft entstehenden Verluste sind geringer. Bei der Einstellung des Betriebes hört der Brennstoffverbrauch sofort auf. Die Ausnutzung und Verwertung jeder Kohle ist möglich, auch kann jeder beliebige Brennstoffwechsel vorgenommen werden. Der Rost entfällt. Die Feuerung ergibt eine vollkommene und rauchfreie Verbrennung, hohe Verbrennungstemperaturen und einen hohen Kesselwirkungsgrad. Die Herdverluste sind klein. Wirtschaftlich ist die Kohlenstaubfeuerung der Wanderrostfeuerung etwa gleichwertig. Sie ist jedoch überlegen, wenn man minderwertige, gasarme Kohle verfeuert. Den Vorteilen stehen folgende Nachteile gegenüber: Die Aufbereitung des Kohlenstaubes ist teuer. Kohlenstaub ist sehr explosionsgefährlich und neigt zur Selbstentzündung, besonders Braunkohlenstaub. Das Feuerungsmauerwerk erfordert hohe Anschaffungs- und Instandsetzungskosten. Die Flugaschenbildung ist oft recht stark.

Die Kohlenstaubfeuerungen lassen sich für jede Kesselgröße verwenden. Am vorteilhaftesten sind sie für Großkessel und für solche mit schwankender Belastung. Ihre Verbreitung steigt. Sie lassen sich auch als Zusatzfeuerungen mit Rostfeuerungen vereinigen. Dies ist besonders vorteilhaft, wenn der Kessel zu bestimmten Zeiten Spitzenbelastungen erfährt.

Ölfeuerungen

Die Ölfeuerungen haben in den letzten Jahrzehnten, besonders im Schiffsbetrieb, eine immer größere Verbreitung gefunden. Aber auch im Landdampfkesselbetrieb werden sie vielfach, und zwar vorwiegend als Zusatzfeuerung zur Kohlenfeuerung, verwendet, um schnell auftretenden Spitzenbelastungen des Kessels nachkommen zu können. Durch eine solche Zusatzfeuerung wird die Kesselanlage bedeutend elastischer. Für den Schiffsbetrieb ist sie besonders gut geeignet, weil der Heizwert der Heizöle sehr hoch und daher der Rauminhalt des Öles für die kcal gering ist. Für die Aufbewahrung des Brennstoffes ist daher weniger Platz erforderlich als bei Kohle. Man gewinnt dadurch an Laderaum. Bei gleich großen Bunkerräumen haben Schiffe mit Ölfeuerungen einen größeren „Aktions-

radius" als solche mit Kohlenfeuerungen. Auch ist die Übernahme des Heizöles bequemer als die von Kohle. Das Füllen der Ölbehälter erfolgt durch Ölpumpen von der Tankstelle aus mit Schläuchen, die an die Fülleitung des Bunkers angeschlossen werden.

Bei einer Ölfeuerung fließt das Öl aus einem mit Dampf beheizten Behälter mittels einer Rohrleitung der Feuerung zu. In dem Behälter, der mit einer Heizrohrschlange ausgerüstet und etwas erhöht angebracht ist (etwa 2 bis 3 m), wird es auf 60 bis 70° C vorgewärmt, damit es dünnflüssiger wird und besser durch die Leitung fließt. Auch die Ölleitungen können beheizt werden durch eine in einer gemeinsamen Isolierung eingebaute Dampfleitung. Die Rohrleitung ist mit einem Siebfilter versehen zwecks Ausscheidung von Unreinigkeiten. Beim Eintritt in die Feuerung (Abb. 50) wird das Öl in einem Brenner fein zerstäubt; es verdampft durch die Wärme der Flamme sowie durch die Hitzeausstrahlung des glühenden Mauerwerks und verbrennt im Feuerraum. Die Verbrennungsluft, die entweder durch den natürlichen Schornsteinzug oder durch besondere Gebläse dem Feuerraum zugeführt wird, kann durch einen Luftschieber ihrer Menge nach geregelt werden. Sie wird vorteilhaft hoch vorgewärmt. Die Regelung der Ölmenge geschieht entsprechend dem jeweiligen Dampfbedarf durch Änderung des Öldruckes und dadurch, daß man Zerstäuberlochscheiben mit verschieden großer Öffnung einlegt. Die Zerstäubung und Verdampfung müssen erfolgen, damit der Brennstoff sich innig mit der Verbrennungsluft vermischen kann. Dadurch erreicht man eine rasche und vollkommene Verbrennung und damit eine gute Ausnutzung des Brennöles. Bei ungenügender Zerstäubung und Verdampfung gelangen Öltropfen an das glühende Mauerwerk, und es bilden sich Koksablagerungen; denn die meisten Heizöle enthalten festen Kohlenstoff, und dieser muß in schwebendem Zustande schnell verbrennen. Bei den älteren Ölfeuerungen, der Riesel- und Tropffeuerung, war eine genügend feine Zerstäubung nicht möglich. Die Ausnutzung des Brennstoffes war daher nur mangelhaft. Die Zerstäubung kann erreicht werden durch Öldruck, durch Druckluft und durch Dampf.

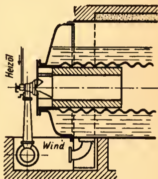
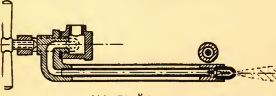


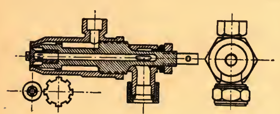
Abb. 50 Ölfeuerung

Bei der Zerstäubung durch Öldruck wird das vor dem Brenner nochmals vorgewärmte Heizöl


Abb. 51 Ölbrenner

durch Streudüsen (Abb. 51) unter einem Druck von 4 bis 12 at in den Brenner gepreßt. Das Öl wird so weit vorgewärmt, wie es möglich ist, ohne daß es zu verdampfen anfängt, denn in den Ölleitungen darf sich kein Öldampf bilden. Die Vorwärmungstemperatur richtet sich nach den Eigenschaften des Öles. So beträgt z. B. die Vorwärmungstemperatur bei Teeröl etwa 80° C, bei Naphtha rund 140° C. In den Streudüsen wird der Brennstoffstrahl durch eine Schraubenfläche, die in die Brennermündung eingebaut ist, in eine umlaufende, drehende Bewegung versetzt und so beim Austritt zerstäubt (Abb. 51). Das Öl wird in feinste Teilchen zerrissen und in Form eines Ölnebels in die Feuerung geschleudert. Den nötigen Druck erzeugt eine Dampfpumpe. Damit die Brennstoffzufuhr gleichmäßig erfolgt, ist zwischen Pumpe und Brenner ein Windkessel eingebaut. Dieser nimmt die Druckstöße der Pumpe auf, so daß der Druck vor dem Brenner stets gleich ist.

Bei dem Zerstäubungsverfahren durch Druckluft wird das Öl, das im Brenner durch feine Düsen austritt, durch einen aus schmaler, ringförmiger Öffnung austretenden Preßluftstrahl mitgerissen (Abb. 52). Das Gemisch aus feinen Öltröpfchen und Luft wird dadurch von einem Luftmantel eingeschlossen und es tritt sehr gute Vermischung von Öl und Verbrennungsluft ein. Der Luftüberschuß braucht nur sehr gering zu sein. Man unterscheidet für dies Verfahren Nieder- und Hochdruckbrenner. Der Überdruck der Preßluft beträgt bei den ersteren 150 bis 700 mm WS, bei Hochdruckbrennern bis zu mehreren atü. Die Druckluft wird durch Gebläse erzeugt.


Abb. 52 Ölbrenner

Bei der Zerstäubung durch Dampf wird das Öl durch einen Dampfstrahl von 1 bis 2 atü Druck mitgerissen und zerstäubt. Man verwendet hierfür stark überhitzten Dampf. Denn dadurch wird der Dampfverbrauch geringer und die Flamme heißer. Die Wirkungsweise ist also die gleiche wie bei der Druckluftzerstäubung. Die Druckluft- und Dampfzerstäubung werden nur bei kleinen Kesseln verwendet. Neben diesen feststehenden Brennern gibt es noch umlaufende Ölbrenner. Bei diesen Brennern wird das aus einer Düse austretende Heizöl mit einem schnell umlaufenden Zerstäuberbecher durch die Fliehkraft zerstäubt und in den Brennerraum geschleudert.

Als Brennstoffe verwendet man für Ölfeuerungen Rohöle (Erdöl) und deren Destillationsprodukte sowie Rohteer und Teeröle, die aus Steinkohlen und Braunkohlen gewonnen werden. Der Heizwert dieser Öle ist sehr hoch. Für Rohöle beträgt er 9500 bis 11 500 kcal/kg, für Teeröle

8100 bis 10000 kcal/kg, während z. B. Ruhrkohle einen Heizwert vor 6100 bis 8100 kcal/kg und Saarkohle einen solchen von 5000 bis 7800 kcal/kg hat; der Heizwert der deutschen Braunkohle liegt zwischen 1900 und 3000 kcal/kg.

Die Vorteile der Ölfeuerung: Sie ermöglicht eine rauchfreie und vollkommene Verbrennung. Das Heizöl verbrennt ferner ohne Rückstände und ohne Funkenauswurf. Die Feuerung läßt sich leicht regeln, ist sehr elastisch, ermöglicht ein schnelles Anheizen und eine schnelle Leistungssteigerung. Nach Einstellung des Betriebes hört der Brennstoffverbrauch sofort auf. Der Rost und damit die Kosten für seine Instandhaltung fallen weg. Im Verbrennungsraum herrschen hohe Temperaturen. Der Kesselwirkungsgrad ist sehr hoch, da keine Flugaschenbildung auftritt; denn die Flugasche verschmutzt bei der Kohlenfeuerung leicht die Heizflächen und beeinträchtigt den Wärmeübergang an das Kesselwasser. Der günstige Kesselwirkungsgrad rührt weiter daher, daß der Luftüberschuß nur gering zu sein braucht und daß die Verluste, die durch das Feuerreinigen entstehen, hier fortfallen. Die Bedienung ist sehr einfach und bequem. Hinzu kommen noch die geringen Frachtkosten für die Wärmeeinheit, die bequeme Lagerung des Brennöles sowie der geringe Raumbedarf für die Aufbewahrung. Eine Abnahme des Heizwertes durch die Lagerung wie bei der Kohle findet hier nicht statt. Wegen der vielen Vorteile, die die Ölfeuerung bietet, ist man im Schiffbau dazu übergegangen, nicht nur Neubauten mit Ölfeuerungen auszurüsten, sondern auch ältere Schiffe von Kohlen- auf Ölfeuerung umzubauen. Jedoch sind die Brennstoffpreise hoch. Außerdem hat man noch Sonderkosten für Reinigung und Erwärmung des Öles in Kauf zu nehmen. Früher sprachen nationalwirtschaftliche Bedenken gegen eine größere Verbreitung der Ölfeuerung, weil das Öl fast ausschließlich aus dem Auslande eingeführt werden mußte. Infolge der weitgehenden Verbreitung der Kohle ist die Eigenproduktion an brauchbaren Ölen in Deutschland im Zuge des Vierjahresplanes jedoch erheblich gestiegen. Wegen der Feuergefährlichkeit des Heizöles ist größte Sauberkeit im Kesselhaus erforderlich.

Aus der Werkstoffkunde

Eisenerz, Roheisen, technisch verwertbares Eisen

Stahl und Eisen treten uns in der Technik in großer Menge und Vielgestaltigkeit entgegen. Im Zuge der Reichsautobahnen, der „Straßen des Führers“, begegnen wir zahlreichen eisernen Brücken. Der zum Bau dieser Brücken verwendete Werkstoff ist Stahl. An einer Neubaustrecke arbeiten große Baggermaschinen. Das Getriebe dieser Maschinen, die Zahnräder, sind aus Stahlguß. Bei der Einkehr im schön gelegenen Rasthaus der Reichsautobahnen fällt unser Blick unter anderem auch auf die Heizkörper. Sie bestehen aus Gußeisen. Eine Panne während der Weiterfahrt zwingt uns zum Halten; mit Hilfe eines Schraubenschlüssels ist der Schaden schnell behoben. Schraubenschlüssel werden in Temperguß hergestellt.

Stahl, Stahlguß, Gußeisen und Temperguß sind die genormten Bezeichnungen der vier Hauptgruppen des technisch verwertbaren Eisens.

Stahl ist alles ohne Nachbehandlung schmiedbare Eisen. Flußstahl ist der im flüssigen Zustand, Schweißstahl der im teigigen Zustand gewonnene Stahl.

Stahlguß ist in Formen vergossener Stahl; er ist ebenfalls ohne weitere Behandlung schmiedbar.

Gußeisen ist nicht schmiedbar. Es wird aus Roheisen allein oder mit Brucheisen und anderen Schmelzzusätzen erschmolzen und in Formen gegossen.

Temperguß ist zäh, hämmerbar, leicht bearbeitbar und in beschränktem Maße schmiedbar. Er wird aus weißem Roheisen gegossen und danach durch bestimmte Glühverfahren entkohlt.

Das Roheisen wird aus den Eisenerzen im Hochofen erzeugt. In der Natur kommt reines Eisen infolge seiner Neigung, sich mit Sauerstoff zu verbinden, kaum vor. Die Erze enthalten neben steinigen und erdigen Bestandteilen vor allem Sauerstoff. Diese Verunreinigungen werden von den eisenhaltigen Bestandteilen durch eine entsprechende Vorbehandlung (Aufbereitung) getrennt. Dadurch erhalten wir ein mit Eisen angereichertes Ausgangsmaterial. Das Eisen als Metall erhalten wir erst im Hochofen. Um aus den Eisenerzen im Hochofen Roheisen zu erschmelzen, brauchen wir einen guten Brennstoff, den Hüttenkoks. Ferner müssen wir dafür sorgen, daß gewisse Bestandteile der Eisenerze in die Schlacke überführt werden. Dieses wird erreicht durch Zusätze (Zuschläge) von Kalk zum Erz. Nach diesen Vorbereitungen erfolgt nun die „Beschickung“ des Hochofens abwechselnd mit Koks, Erz und Kalk. Der glühende Koks entzieht dem Eisenerz den Sauerstoff. Durch die Berührung mit dem Koks nimmt aber das entstehende Roheisen reichlich Kohlenstoff auf.

Wie Ihnen bekannt ist, kann im Hochofen entweder weißes oder graues Roheisen erzeugt werden. Durch die Regelung der Ofentemperatur bei mehr oder minder hohem Gehalt des Eisens an Silizium bzw. Mangan hat der Eisenhüttenmann es in der Hand, wahlweise weißes oder graues Roheisen zu erzeugen. Weißes Roheisen bildet sich bei größerem Mangangehalt und niedriger gehaltener Ofentemperatur. Der Kohlenstoff im Eisen bleibt in diesem Falle gelöst. Weißes Roheisen hat daher einen silberweißen, hellen Bruch; es ist härter und spröder als graues Roheisen. Graues Roheisen entsteht bei größerer Aufnahme von Silizium und hoher Ofentemperatur. Das Silizium bewirkt eine Ausscheidung des Kohlenstoffs in Form von Graphit. Graues Roheisen hat deshalb ein graues Bruchgefüge. Beide Roheisenarten enthalten neben dem Kohlenstoff mehr oder weniger Silizium und Mangan sowie Schwefel und häufig auch Phosphor. Phosphor macht das Eisen dünnflüssig, jedoch leidet dabei die Festigkeit. Wird phosphorhaltiges Eisen im kalten Zustand gebogen, so bricht es. Ein solches Eisen ist „kaltbrüchig". Schwefel macht das Eisen dickflüssig und verringert die Festigkeit. Wird schwefelhaltiges Eisen rotwarm gemacht und gebogen, dann bricht es, es ist „rotbrüchig". Das Roheisen ist daher als Werkstoff nicht verwendbar. Um technisch verwertbares Eisen zu erhalten, muß das Roheisen noch geläutert werden. Das weiße Roheisen gelangt in flüssigem Zustand zur Weiterverarbeitung auf Stahl. Graues Roheisen braucht man zur Herstellung von Gußeisen. Man läßt das flüssige graue Roheisen in Sandformen fließen und erkalten. Die auf diese Weise entstehenden länglichen Blöcke nennt man Masseln. Die Masseln werden in die Gießereien verschickt. Sie werden dort entweder allein oder mit Brucheisen zusammen auf Gußeisen umgeschmolzen.

Von den Eisenerzen

Ein hochentwickeltes Industrieland wie Großdeutschland braucht Eisen in noch vor 50 Jahren unvorstellbarem Ausmaß. Bis zum Weltkriege konnte Deutschland mehr als die Hälfte seines gesamten Eisenbedarfs allein aus den lothringischen Erzgruben decken. Nach dem Weltkriege fielen infolge des Versailler Diktats diese reichen lothringischen Erzquellen für Deutschland aus. Mehr und mehr stellte sich nun die deutsche Eisenindustrie auf die Verhüttung der sehr hochwertigen spanischen und schwedischen Eisenerze ein. Die geringe Erzförderung aus den uns verbliebenen Erzgruben ging weiter zurück. Selbst in den Jahren der Scheinblüte 1929/30 wurde nur ein geringer Teil des Bedarfs aus deutschem Boden gefördert. Fast 85% des deutschen Erzbedarfs wurden in dieser Zeit eingeführt. Die Folge war eine starke Abhängigkeit vom Auslande, die uns eines Tages, wie schon einmal im Weltkriege, verhängnisvoll werden konnte. Mit der Machtergreifung durch den Führer im Jahre 1933 setzte nach Jahren des Niederganges ein gewaltiger Aufstieg der deutschen

Wirtschaft ein. Der Bau neuer Verkehrswege wie der Reichsautobahnen, die Durchführung riesiger Bauvorhaben in den Städten, nicht zuletzt auch die Wehrhaftmachung des deutschen Volkes und die damit verbundene Ausrüstung der deutschen Wehrmacht mit neuzeitlichen Kampfmitteln führte bald zu einer außerordentlichen Verknappung des Eisens. Hinzu kam, daß dem neuen Deutschland feindlich gesinnte Mächte aus politischer Gegnerschaft ihr Gold und ihre Wirtschaft entgegensetzten, um die Erzversorgung Deutschlands einzuengen und damit seine Aufwärtsentwicklung zu hemmen. Immer mehr erwies sich die Sicherung der wirtschaftlichen Freiheit als die notwendige Voraussetzung für Deutschlands Wachsen und schließlich sogar für seinen Bestand. Das beweist uns besonders eindringlich der Krieg, den Deutschland zur Zeit führen muß. Wirkungslos prallte die Blockade der Feindmächte ab an der Wehr- und Wirtschaftskraft des deutschen Volkes.

Schon zu Beginn der nationalsozialistischen Revolution wurden die Maßnahmen erwogen und eingeleitet, um das Reich wirtschaftlich soweit wie möglich unabhängig zu machen. Nachdem im Jahre 1934 der erste Vierjahresplan zur Sicherung der Ernährung verkündet worden war, folgte auf dem Reichsparteitag 1936 die Bekanntgabe des zweiten Vierjahresplanes. Deutschland sollte auch in der Rohstoffversorgung vom Ausland weitestgehend unabhängig werden. Vordringlich war die Steigerung der Eisenerzeugung aus deutschen Erzen. Der jährliche Gesamtbedarf Deutschlands an Eisen war bei Kriegsausbruch auf etwa 12 Millionen Tonnen angewachsen. Vor der Machtübernahme im Jahre 1933 wurde nur noch ein Fünfzehntel des Bedarfs aus deutschen Erzen gedeckt. Zwei Jahre später stieg die Erzeugung auf ein Siebentel des Bedarfs. Als erreichbares Ziel wurde bei der Verkündung des zweiten Vierjahresplanes eine Gewinnung von 5—6 Millionen Tonnen Eisen aus eigenem Boden angesehen.

Die „abbauwürdigen" und leicht verhüttbaren Eisenerzvorräte des Altreiches im Siegerland und bei Ilsede-Peine in Hannover, ferner im Lahn-Dillgebiet, in Bayern, Hessen (Vogelsgebirge) und im Harz wurden auf etwa $^3/_4$ Milliarden Tonnen geschätzt. Durch die Angliederung der Ostmark steigerten sich diese Vorräte auf rund 1,1 Milliarden Tonnen mit etwa 400 Millionen Tonnen Eisengehalt. An sich lag nun der Gedanke nahe, diese Erzvorräte Großdeutschlands in verstärktem Maße abzubauen, um den gesamten Eisenbedarf daraus zu decken. Diese Erze sind verhältnismäßig leicht zu gewinnen und zu verhütten. Sie haben einen hohen Eisengehalt und können zum Teil, wie bei dem berühmten Erzberg in der Steiermark, im Tagebau gewonnen werden. Der verstärkte Abbau dieser Erze aber hätte dazu geführt, daß unsere Vorräte an reicheren Erzen in 30 Jahren erschöpft gewesen wären. Dieser Weg war also nicht gangbar. Wir mußten Mittel und Wege suchen und finden, auch die im deutschen Boden ruhenden armen Erze nutzbar zu machen. Solche Erzgebiete haben wir an den Nordhängen des Harzes bei Goslar-Salzgitter, in Franken, Württemberg, in Südbaden (bei Donaueschingen) und im Amberger Gebiet in Bayern.

Es sind dies sehr große Erzvorräte, deren Eisenarmut und ungünstige Zusammensetzung die direkte Verhüttung jedoch nicht gestatten. Durch die Gründung der Reichswerke AG. für Erzbergbau und Eisenhütten Hermann Göring bei Salzgitter in Niedersachsen und bei Linz an der Donau erfuhren die Bestrebungen zur Auswertung dieser armen Erze einen für die gesamte deutsche Erzerzeugung entscheidenden Aufstieg. Heute steht die Eisenerzförderung des Salzgitter-Bezirkes an der Spitze der deutschen Erzförderung. Das alte Erzgebiet an der Sieg hat somit die Führung an das mitteldeutsche Erzgebiet um Salzgitter, Peine und Ilsede abgegeben. Die Entstehung eines neuen Kraftzentrums in Mitteldeutschland bedeutet eine Entlastung des ohnehin industriell stark beanspruchten Rhein—Ruhr—Sieg-Gebietes. Auch wehrpolitisch ist diese Verlagerung des Schwerpunktes der deutschen Erzförderung ein wesentlicher Vorteil. Der für die Verhüttung notwendige Ruhrkoks wird bei billigen Frachtsätzen auf dem Mittellandkanal herangeschafft[1]).

Vor der Gründung der Reichswerke AG. Hermann Göring wurden Erze mit weniger als 40% Eisengehalt nur in geringem Maße verhüttet. Die spanischen und schwedischen Erze enthalten 50—65% Eisen. Der Eisengehalt der guten deutschen Erze liegt bei etwa 35%. Demgegenüber hat z. B. ein südbadisches, also armes Erz einen mittleren Eisengehalt von kaum 20%. Sehr stark sind die Verwachsungen dieser armen Erze mit Kiesel, Tonerde oder Kalk. Groß ist der Feuchtigkeitsgehalt, sowie der Gehalt an Kohlensäure und verhältnismäßig hoch auch der Gehalt an Phosphor und Schwefel. Es ist wohl leicht einzusehen, daß die Gewinnung von Eisen aus solchen Erzen große Schwierigkeiten bereitet. Während bei einem 50—65%igen Erz zur Erschmelzung von 1 Tonne Eisen 1,5—2 Tonnen Erz notwendig sind, wird zur Erzeugung der gleichen Menge Eisen die 3—3½fache Menge an armen Erzen benötigt. Dementsprechend groß ist der Aufwand an Koks und die Menge der erzeugten Schlacke. Eine direkte Auswertung dieser Erze im Hochofen war somit aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht möglich. Um einen ungewöhnlich hohen Koksverbrauch zu vermeiden und den Vorgang im Hochofen abzukürzen, wurde eine Reihe von Verfahren entwickelt. Allen gemeinsam ist, daß die Erze, bevor sie in den Hochofen gelangen, vorbehandelt, aufbereitet werden. Durch die Aufbereitung wird der Eisengehalt der armen Erze, des „Haltigen", angereichert unter Abstoßung von wertlosen Verunreinigungen, der „Berge" oder des „Tauben". Hierzu ist es erforderlich, das mit verschiedenen Mineralien verwachsene Erz mit Hilfe von Brechern und Walzen zu zerkleinern und auf diese Weise aufzuschließen. Durch Sieben scheidet man hierauf das Erz nach Korngrößen.

[1]) Der Mittellandkanal verläuft vom Dortmund-Ems-Kanal nördlich Münster ausgehend an Minden, Hannover und Peine vorbei zur Elbe bei Magdeburg. Er verbindet in seinen Fortsetzungen, dem Rhein-Herne-Kanal und dem Lippe-Seitenkanal, das Rheinisch-Westfälische Industriegebiet mit der Elbe und später, nach Ausbau des märkischen Wasserstraßennetzes, auch mit der Oder.

Bei dem Krupp-Renn-Verfahren griff man zurück auf eines der ältesten Verfahren zur Gewinnung von Eisen — das „Rennen". Unter „Rennen" versteht man die Erzeugung von schmiedbarem Eisen unmittelbar aus dem Erz, also ohne den Umweg über das Roheisen. Das Eisen kam in Klumpenform, Luppe oder Wolf genannt, aus dem aus Steinen errichteten Ofen. In ähnlicher Weise werden heute bei dem durch Krupp entwickelten Verfahren zunächst Luppen hergestellt. Zu diesem Zweck erhitzt man etwa 10 mm große Erzstücke mit gemahlenem Koks vermischt in einem Drehrohrofen. Als Zusatzheizung dient eine Kohlenstaub- oder eine Gasfeuerung. Es entsteht eine lavaähnliche Schlacke, in der das Eisen in Form von etwa haselnußgroßen Tropfen (Luppen) eingeschlossen ist. Nach der Abkühlung wird die Masse zerkleinert. Hierbei zerspringt die spröde Schlacke und gibt so die Eisenluppen frei. Durch Sieben und mit Hilfe von Magneten trennt man die Schlackenteile von den stark eisenhaltigen Luppen. Die Luppen werden nunmehr dem Hochofen zugeführt. Die Ausbeute bei diesem Verfahren ist recht günstig, da 90—95% des in den Erzen enthaltenen Eisens hierbei gewonnen werden.

Ein anderer Weg zur Erzaufbereitung wurde zuerst von den Röchlingschen Eisen- und Stahlwerken in Völklingen an der Saar angewandt. Bei diesem Verfahren werden die Erze gemahlen und dann einem Röstvorgang unterworfen. Hierdurch wird das Erz von seinem hohen Gehalt an Feuchtigkeit und Kohlensäure befreit. Diese beiden Bestandteile machen etwa ein Viertel des Erzgewichtes aus. Ihre Ausscheidung durch Röstung bedeutet also ebenfalls eine Anreicherung des Eisengehaltes. Die so aufbereiteten Erze gelangen nun in den Hochofen. Um die „Berge" aus dem Erze heraus in die Schlacke überzuführen, kommt es sehr darauf an, den „Möller", d. h. den Zuschlag und den Koks, richtig zusammenzustellen. Durch langwierige Versuche wurde der für die verschiedenen Erze günstigste „Möller" ermittelt. Ferner gelang es trotz der immer noch geringen Haltigkeit der Erze, den Koksverbrauch im Ofen durch eine gut überwachte Ofenführung erheblich herabzudrücken. Das in diesem Verfahren gewonnene Eisen hat natürlich noch nicht die Eigenschaften des gebräuchlichen Roheisens. Man bezeichnet dieses Eisen deshalb als Vorschmelzeisen. Es wird nach Entschwefelung durch Sodazusätze im Thomas-Stahlwerk weiterverarbeitet oder genau wie ein gutes Erz dem Hochofen zur Roheisengewinnung nochmals zugeführt. Da die Gewinnung des Vorschmelzeisens in der Hauptsache ein Schmelzvorgang ist, nennt man dieses Verfahren zur Aufbereitung armer Erze Schmelzaufbereitung.

Bei einem weiteren Verfahren zur Aufbereitung wenighaltiger Eisenerze wird das zuvor feingemahlene Erz auf eine sich drehende Hohlwalze aufgegeben. Im Innern dieser Hohlwalze befindet sich ein feststehender Magnet. Infolge der magnetischen Anziehung haften die eisenhaltigen Körner länger an der Walze als die unhaltigen. Auf diese Weise können die haltigen Körner von den minderwertigen gesondert aufgefangen werden. Wir erzielen durch dieses Verfahren, die Magnetscheidung, eine

Anreicherung des Erzes auf etwa 45% Eisengehalt. Die Abgänge enthalten etwa 12% Eisen. Das durch die Magnetscheidung gewonnene Eisenerz können wir nunmehr zur Roheisenerzeugung dem Hochofen zuführen.

Die hier angeführten Verfahren ermöglichen die Verhüttung der armen deutschen Erze. Ständig wird an ihrer Verbesserung gearbeitet. Weitere Verfahren werden in gründlicher Forschungsarbeit entwickelt. Deutscher Erfindergeist und deutsche Arbeit machen so unter nationalsozialistischer Staatsführung auch auf dem Gebiet der Versorgung mit dem Rohstoff Eisen den Weg frei zur wirtschaftlichen und damit auch zur politischen Unabhängigkeit des deutschen Volkes.

Vom Roheisen zum Stahl

Die weitaus überwiegende Menge des verarbeiteten Stahls ist Flußstahl. Schweißstahl wird nur noch in verhältnismäßig geringen Mengen erzeugt und hauptsächlich zu Ketten und Automatenstählen verarbeitet. Flußstahl verwendet man in ungeheuren Mengen in der Waffentechnik, im Brückenbau, im Eisenbahnwesen, im Schiffsbau und in vielen Zweigen des Maschinenbaues.

Um Stahl zu erzeugen, müssen wir dem im Hochofen mit Kohlenstoff angereicherten Roheisen den Kohlenstoff größtenteils wieder entziehen. Auch das Zuviel an Silizium und Mangan muß entfernt werden. Da die einzelnen Abstiche des im Hochofen gewonnenen weißen Roheisens in ihrer Zusammensetzung nicht einheitlich sind, sammelt man eine Reihe von Hochofenabstichen in großen Behältern, den Roheisenmischern. Im Roheisenmischer vollzieht sich der Ausgleich; außerdem verdampft der Schwefel. Der zu große Gehalt an Kohlenstoff, Silizium und Mangan im Roheisen wird dadurch beseitigt, daß diese drei Stoffe durch Zuführung von Luft (Sauerstoff) zum flüssigen Roheisen größtenteils verbrannt werden. Diesen Vorgang nennt man Frischen.

Früher schmolz man das Roheisen wiederholt im Holzkohlenfeuer. Beim Niedertropfen durch den von Blasebälgen erzeugten Windstrom verbrannte nacheinander Silizium, Mangan und Kohlenstoff. Das Erzeugnis war ein ziemlich weicher Stahl von großer Reinheit. Dieses Frischfeuerverfahren genügte in einer Zeit, in der die Technik noch in den ersten Anfängen steckte. Heute ist dieses Verfahren zu zeitraubend und zu teuer. Mehr und mehr kam es darauf an, unter Verwendung eines billigen Brennstoffs größere Mengen Stahl in kürzester Zeit zu erschmelzen. Anstatt der wertvollen, nicht in genügender Menge vorhandenen Holzkohle verwendet man Steinkohle als Brennstoff. Der Ofen hat Herdform. Das Roheisen wird in Blöcken in den mit sauerstoffreicher Schlacke ausgekleideten Herd eingesetzt, getrennt vom Brennstoff. Die Flammen schlagen über den Einsatz hinweg und bringen ihn zum Schmelzen. Durch dauerndes Rühren (Puddeln) mit eisernen Stangen findet hier durch innige Berührung mit

dem Sauerstoff der Schlacke und der in den Feuergasen enthaltenen Luft das Frischen statt. Der Kohlenstoffgehalt des Eisens nimmt ab. Das bisher flüssige Eisen wird teigig. In Ballen, Luppen genannt, löst der Puddler schließlich mit Brechstangen den Stahl. Unter dem Dampfhammer schweißt der Stahl fest zusammen, wobei die Schlackenteile ausfließen. Das Ergebnis des Puddelverfahrens ist Schweißstahl, ein zäher, ziemlich schlackenreiner Werkstoff.

Bei der schnell fortschreitenden Industrialisierung Deutschlands seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts hielt die Stahlerzeugung mit dem Bedarf bald nicht mehr Schritt. Außerdem setzte sich immer mehr der Ruf nach Wirtschaftlichkeit in der gesamten Technik durch, dem das Puddelverfahren nicht entsprach. Es ist zu zeitraubend und erfordert viel Brennstoff; außerdem nimmt die Schlacke sehr viel Eisen auf, so daß sie im Hochofen wieder mit verhüttet werden muß. Eine Umwälzung in der Stahlerzeugung bedeutete es daher, als Bessemer mit seinem Verfahren anstatt irgendwelcher Feuerung lediglich die durch eine schnelle Verbrennung von Kohlenstoff, Silizium und Mangan entstehende Wärme zum Flüssighalten des Roheisens ausnutzte. Er erreichte dies, indem er in einem birnenförmigen mit Quarz ausgekleideten Behälter durch Hunderte von Öffnungen von unten her Frischluft durch das Roheisen blies. Die Verbrennungswärme ist so groß, daß trotz der fortschreitenden Entkohlung das Eisen flüssig bleibt. Im geeigneten Augenblick wird der Prozeß abgestoppt, indem man die Luftzufuhr (Windzufuhr) abstellt. Die Färbung der aus der „Birne" schlagenden Flammen läßt diesen Zeitpunkt erkennen. Beim Bessemer-Verfahren wird in der gleichen Zeit die 300 bis 400fache Stahlmenge erzeugt wie beim Puddelverfahren.

Das Bessemer-Verfahren ist nur für phosphorarmes Roheisen anwendbar. Phosphorarme Eisenerze besitzt Deutschland so gut wie gar nicht, so daß wir früher unsere Erze größtenteils aus Spanien und Schweden einführen mußten. Große Devisenmengen waren hierzu erforderlich. Die deutschen Erze blieben ungenutzt. Besonders fühlbar wurde dies, als wir 1871 die lothringischen ebenfalls phosphorhaltigen Erzvorkommen zurückgewannen. Immer größere Mengen Stahl forderte die deutsche Industrie. Auch an die Güte des Materials wurden steigend höhere Anforderungen gestellt. Der Phosphor allein stand im Wege. Da fand wenige Jahre später Thomas die Lösung. Er kleidete die vom Bessemer-Verfahren her bekannte „Birne" mit einem kalkähnlichen Stoff, dem Dolomit, aus und brachte in die Birne Kalk als Zuschlag. Dem Dolomit und dem Kalk kann der Phosphor nichts anhaben. Er verbindet sich vielmehr mit dem Kalk zu phosphorsaurem Kalk. Damit wird uns nebenbei ein wertvolles unter dem Namen „Thomasmehl" bekanntes Düngemittel geliefert, das heute eine der Säulen bildet, auf denen die Produktionssteigerung in der Landwirtschaft beruht. Nun können wir unsere eigenen phosphorhaltigen Erze verhütten. Dieses für uns wichtige Verfahren ist das Thomas-Verfahren.

Die starke Steigerung in der Stahlerzeugung und in der industriellen Fertigung brachte es mit sich, daß große Mengen von Stahlabfällen in Form von Bruch, Drehspänen, Stahlstücken und Alteisen anfielen. Für

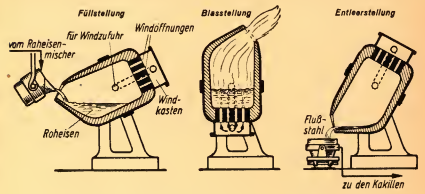


Abb. 53 Darstellung der Bessemer- und Thomas-Birne

diese mehr und mehr anwachsenden Schrottmengen bestand zunächst keine Verwendungsmöglichkeit, weil dieser Schrott, seines geringen Kohlenstoffgehaltes wegen, nur bei höherer Ofentemperatur wieder eingeschmolzen werden kann. Ein solcher Ofen aber fehlte. Da gelang es den Gebrüdern Siemens, eine überaus wirksame Feuerung zu konstruieren, die sie bei dem schon damals bekannten Herdofen von Martin anwendeten. Als Brennstoff diente ein Gas-Luft-Gemisch. Gas und Luft werden jedes für sich durch die Abgase des Ofens in besonderen Heizkammern des Ofens auf 800° vorgewärmt. Die Vereinigung und Verbrennung von Gas und Luft erfolgen über dem Herd, wobei die zum Schmelzen von Schrott erforderliche Temperatur von über 1800° erreicht wird. Dieser so wichtige Schmelzofen ist der Siemens-Martin-Ofen.

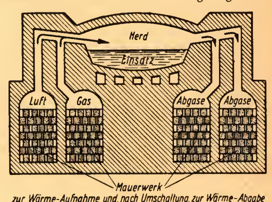


Abb. 54 Darstellung des Siemens-Martin-Ofens

Allmählich entwickelte sich aus diesem reinen Schmelzverfahren ein neues Verfahren zur Gewinnung von Flußstahl aus Schrott, Roheisen und sauerstoffreichen Zugaben wie Rost, Hammerschlag und Walzzunder. Je

nach der Ausfütterung des Schmelzherdes kann man beim Siemens-Martin-Verfahren sowohl phosphorarmes wie phosphorreiches Roheisen einsetzen. Das Siemens-Martin-Verfahren ist somit für die deutsche Flußstahlerzeugung neben dem Thomas-Verfahren von größterBedeutung.

Der im Thomas-, Siemens-Martin- oder seltener im Bessemer-Verfahren erzeugte Rohstahl wird in Gießpfannen aufgefangen. In Gießformen mit prismatischem Querschnitt erstarrt der Flußstahl zu Blöcken. Diese Blöcke werden im Walzwerk zu Fertigfabrikaten oder zu Halbzeug ausgewalzt.

Fragen zur Wiederholung

1) Welchen Zweck hat das Frischen?
2) Welche Bedeutung hat das Thomasverfahren für die deutsche Stahlerzeugung?
3) Wie ist es zu erklären, daß beim Puddelverfahren das zunächst flüssige Roheisen später teigig wird?
4) Weshalb hat in Deutschland der Siemens-Martin-Ofen besonders heute eine so überragende Bedeutung?

Vom Rohstahl zu den Walzwerkerzeugnissen

Der nach den verschiedenen Verfahren hergestellte Rohstahl wird in Blockformen (Kokillen) vergossen. Die so gewonnenen Blöcke erkalten durch die Berührung mit den stählernen Blockformen äußerlich verhältnismäßig schnell, während der Kern flüssig bleibt. Zum Ausgleich der Wärmeunterschiede bringt man deshalb die Blöcke in gemauerte Ausgleichsgruben. Das ziemlich eng umschließende Mauerwerk nimmt die vom Stahlkern nach außen dringende Wärme auf und bewirkt eine gleichmäßige Durchglühung der Blöcke. Auf einem Rollgang, der mit einem laufenden Band vergleichbar ist, gelangen die Blöcke zu den Walzen. In glühendem Zustand läßt sich der Stahl am leichtesten verformen. Deshalb wendet man fast ausschließlich das Warmwalzverfahren an. Lediglich dünne Bleche, z. B. für den Karosseriebau, werden kalt gewalzt. Sie erhalten hierdurch eine besonders glatte Oberfläche. Während des Walzvorgangs kühlt sich der Stahl trotz der Zeitdauer und der Querschnittsverminderung nur wenig ab, da infolge der Reibung zwischen den Walzen die Wärme nahezu vollständig wieder ersetzt wird.

Die Erzeugnisse des Walzwerkes sind bekanntlich Halbzeug und Fertigfabrikate. Zum Halbzeug, das weiterverarbeitet wird, zählen: quadratische Blöcke von 115 bis 400 mm Dicke und rechteckige Brammen von mindestens 115 mm Breite und 50 mm Dicke. Ferner gehören dazu die aus den Blöcken und Brammen gewalzten Zwischenerzeugnisse wie Knüppel und Platinen. Die Blöcke werden je nach dem Verwendungszweck zu quadratischen Knüppeln von 40 mm bis 115 mm Kantenlänge oder zu rechteckigen Flachknüppeln von 50 bis 115 mm Breite und mindestens 30 mm Dicke gewalzt. Aus ihnen stellt man durch weiteres Auswalzen die

verschiedensten Profile als Fertigfabrikate her. Aus den Brammen werden zunächst die Platinen, das Zwischenerzeugnis für die Herstellung aller Arten von Blechen, gewalzt. Die Platinen haben eine flach-rechteckige Form. Knüppel, Brammen und Platinen bilden oft auch die Rohform für die Herstellung schwererer Maschinenteile, wie Kurbelwellen, Pleuelstangen und Schiffswellen; die Weiterverarbeitung erfolgt durch Schmieden und Pressen.

Zu den Fertigfabrikaten gehören neben den Blechen, Rohren und Drähten die Formstähle, Stabstähle und Breitflachstähle. Am häufigsten gebraucht werden die Stabstähle mit rundem, quadratischem, rechteckigem und sechskantigem Querschnitt sowie die Winkel- und T-Stähle. Zu den Stabstählen zählen ferner die Doppel-T- und U-Profile unter 80 mm Höhe, während diejenigen über 80 mm Höhe als Formstähle bezeichnet werden. Die Breitflachstähle haben, wie schon der Name erkennen läßt, große Breite und geringe Dicke.

Nachstehende, dem DIN-Blatt 1612 entnommene Übersicht enthält weitere Angaben über die genannten 3 Baustähle.

Querschnittsformen	*Bezeichnung*
I und [80mm Höhe und mehr,	*Formstahl*
I und [unter 80mm Höhe, … *usw*	*Stabstahl*
8 bis 150mm Breite und 3 bis 100mm Dicke	
über 150mm Breite, 3mm Dicke u. mehr	*Breitflachstahl*

Abb. 55

Je nach dem Verwendungszweck sind an die Güte des Werkstoffes bestimmte Anforderungen zu stellen. Maßgebend für die Güte sind vor allem die Zugfestigkeit und die Bruchdehnung. Durch Entnahme von Schöpfproben ist es insbesondere beim Siemens-Martin-Verfahren möglich, die Zusammensetzung des Einsatzes nach Wunsch zu regeln. Hierdurch können wir jeweils die gewünschte Stahlgüte erzeugen. Im allgemeinen werden zwei Güteklassen, nämlich die Handelsgüte und die Normalgüte, lagermäßig gehalten. Die dritte Art, die Sondergüte, wird auf Bestellung vom Walzwerk geliefert. Stahl der Normalgüte hat die Normbezeichnung St 37.12. Dabei bedeutet St Stahl. Die Zahl 37 besagt, daß die Zugfestigkeit dieses Stahles mindestens 37 kg/mm² beträgt. Die Zahl 12 weist auf das Normblatt 1612 hin. Die Normblätter für sämtliche Stahl- und Eisensorten haben die Blattnummern von 1600 bis 1699. Es erübrigt sich daher, die Zahl 16 bei der Bezeichnung eines Stahles mit anzugeben. Die Zahl 12 im obigen Beispiel bedeutet also, daß die Werkstoffeigenschaften dieses Stahles aus dem Normblatt DIN 1612 der Deutschen Normen zu ersehen sind.

Mehr als 6000 Normblätter (DIN-Blätter) wurden bisher vom Deutschen Normenausschuß (DNA) auf allen Gebieten der Technik und der Wirtschaft als verbindlich herausgegeben.

Stahl der Handelsgüte hat die Bezeichnung St 00.12. Die Zahl 00 besagt, daß eine bestimmte Zugfestigkeit nicht gewährleistet wird. Bei der Sondergüte unterscheidet man 3 Gütestufen:

St 34.12 ist Stahl mit mindestens 34 kg/mm² Zugfestigkeit
St 42.12 „ „ „ „ 42 kg/mm² „
St 44.12 „ „ „ „ 44 kg/mm² „

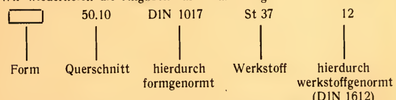
Diese Bezeichnungen reichen jedoch für die Kennzeichnung und Bestellung eines Stabstahles oder Formstahles nicht aus, da sie lediglich den Werkstoff festlegen. Es müssen noch die Form und die genormten Abmessungen des Stahles genannt werden. Daher lautet die Bestellung und Bezeichnung z. B. für einen Flachstahl von 50 mm Breite und 10 mm Dicke:

Flachstahl 50.10 DIN 1017 St 37.12

oder ▭ 50.10 DIN 1017 St 37.12

Die Angabe „DIN 1017" weist darauf hin, daß die genormten Abmessungen des Flachstahles aus dem DIN-Blatt 1017 zu entnehmen sind. Auf diese Weise wird jeder Irrtum und Zweifel bei der Bezeichnung, Bestellung oder Lieferung ausgeschaltet. Die Menge gibt man an entweder als Gewicht in kg oder als Länge in m.

Wir wiederholen die Angaben zur Erläuterung:



Bei einer Bestellung sind in stets gleichbleibender Reihenfolge nachstehende Angaben erforderlich:

1) die Menge in kg oder m,
2) die Form und der Querschnitt mit Angabe der Nummer des DIN-Blattes für die Formnormung,
3) die Bezeichnung des Werkstoffs und des zugehörigen DIN-Blattes für die Werkstoffnormung.

Fragen zur Wiederholung

5) Wie lautet die Bestellung auf einen gewalzten Rundstahl mit 42 kg/mm² Zugfestigkeit (Sondergüte) von 8 mm Durchmesser bei einer Länge von 9 m?
   Das Zeichen für 8 mm Rundstahl ist: ⌀ 8. Rundstahl ist formgenormt nach DIN-Blatt 1013.
6) Zum Bau eines Kranes werden 12 Stück U-Träger in Normalgüte von 9 m Länge und 200 mm Höhe gebraucht. In welcher Form ist zu bestellen?
   Zeichen für U-Stahl von 200 mm Höhe: ⊏ 20. U-Stahl ist nach Form und Abmessungen genormt nach DIN-Blatt 1026.

Vom Gußeisen

Gußeisen ist heute ein hochwertiger Werkstoff mit wertvollen Eigenschaften. Es kann bei richtiger Werkstückgestaltung und geschickter Zusammensetzung des Werkstoffes dem Stahl sogar gleichwertig sein. Gußeisen ist zudem ein sehr vielseitiger Werkstoff, der je nach seiner Zusammensetzung und abhängig von der Gießtemperatur und der Abkühlungsgeschwindigkeit sehr verschiedenen Anforderungen gerecht werden kann. Gußeisen ist die am meisten verwendete gießbare Eisenlegierung. Stahlguß und Temperguß, über die später noch zu sprechen sein wird, treten mengenmäßig stark zurück.

Aus Gußeisen werden hergestellt: Maschinenteile, Maschinenständer, Maschinengehäuse, Zylinder, Kolben, Ofenplatten, Ofenroste, Ofentüren, Heizkörper, Abflußrohre, Säulen, Bremsklötze, Kessel, Walzen für Druckerei und Papierherstellung, Schmelztiegel, Glühtöpfe, Töpfe für den Haushalt, Ventilgehäuse, Hähne, Kegelräder, Riemenscheiben und viele andere Gegenstände. Man fertigt aus Gußeisen Maschinenständer, die viele Tonnen wiegen und ebenso Plaketten oder Zierteile von sehr geringem Gewicht.

Bei der ungeheuren Vielseitigkeit der Verwendung werden auch sehr verschiedene Anforderungen an den Werkstoff Gußeisen gestellt. Zum Beispiel sind Schmelzkessel, Glühtöpfe, Roststäbe und Bauteile für Herde und Öfen hohen Temperaturen ausgesetzt. Solches Gußeisen muß feuerbeständig sein. Dazu eignet sich für einfache Fälle weitgehend phosphorfreies Gußeisen, oder man setzt dem Gußeisen Silizium, Nickel und Chrom zu.

Die chemische Industrie braucht für Säuren, Laugen und andere Flüssigkeiten Aufbewahrungsgefäße, die nicht von diesen Chemikalien zerfressen werden. Nach jahrelangen und planmäßigen Untersuchungen fand man im Gußeisen mit hohem Siliziumgehalt einen geeigneten Werkstoff. Auch Gußeisen mit hohem Nickelgehalt und Chrom- und Kupferzusätzen ist säurebeständig. Gußeisen mit hohem Siliziumgehalt besitzt außerdem geringe magnetische Verluste, deshalb eignet es sich zur Herstellung von Gehäusen für elektrische Maschinen. Durch Zusatz von Nickel wird ein anderes Gußeisen erschmolzen, das widerstandsfähig gegen Soda, Natron und Kali ist. Nunmehr konnten Siedekessel für die Seifenindustrie aus nickelhaltigem Gußeisen angefertigt werden. Gußeisen läßt sich vorzüglich mit Schmelzüberzügen versehen, die die Rostgefalr vermeiden und das Ansehen der Stücke verschönern. Nunmehr sind gußeiserne Töpfe und Kessel im Haushalt gut verwendbar.

Besonders wichtig ist das Gußeisen für den Maschinenbau. Drehbänke, Fräsmaschinen, Bohrmaschinen, Tischhobelmaschinen, Schnellhobler und viele Sonderbauformen unserer Werkzeugmaschinen besitzen einen Maschinenkörper aus Gußeisen. Dieses Gußeisen heißt Maschinenguß. Dafür ist im Normenblatt DIN 1691 eine Ausführung ohne und eine Ausführung mit besonderen Gütevorschriften festgelegt.

Gußeisen ist planmäßig erforscht worden. Schon durch die Wahl verschiedener Roheisensorten werden die Eigenschaften des zu erschmelzenden Gußeisens beeinflußt. Siegerländereisen, Luxemburger Eisen, Hämatiteisen sind solche Roheisensorten, die zum Teil von bestimmten Hüttenwerken geliefert werden. Wenn verschiedene Roheisensorten zur Herstellung eines besonderen Gußeisens zusammengestellt werden, so nennt das der Gießereifachmann „gattieren". Volkswirtschaftlich ist es außerordentlich wichtig, daß beim Schmelzen des Gußeisens Gußabfälle, wie Eingußtrichter fertiger Gußstücke und Gußbruch, der aus Altmaterial und Werkstattabfall stammen kann, restlos wieder eingeschmolzen werden können. Auch Stahlschrott wird beim Schmelzen zugesetzt. Chrom und Nickel, Mangan und Silizium und andere Metalle werden beim Einschmelzen dem Einsatz beigegeben, um Gußeisen mit Sondereigenschaften zu erzielen.

Das Einschmelzen erfolgt im Gießereischachtofen, der auch Kupolofen genannt wird. Er ist einem Hochofen vergleichbar, aber seine Abmessungen und damit sein Fassungsvermögen sind erheblich kleiner. Koks wird als Brennstoff verwendet. Schichtweise werden Koks, Roheisen und Kalk in den Ofen gegeben. Der Kalk wird zur Schlackenbildung zugesetzt. Hochofen und Gießereischachtofen haben jedoch grundverschiedene Aufgaben. Im Hochofen wird aus Eisenerzen ein völlig neuer Stoff gewonnen, das Roheisen; im Gießereischachtofen wird das aufgegebene Material nur umgeschmolzen.

Bei diesem Umschmelzen verbrennt auch ein Teil des Kohlenstoffes, der im Roheisen enthalten ist. Dennoch ist der Kohlenstoffgehalt des Gußeisens noch immer so hoch, daß Gußeisen nicht schmiedbar ist. Das ist das Hauptunterscheidungsmerkmal gegenüber dem Stahl. Zahlenmäßig grenzt man Stahl und Gußeisen durch den Kohlenstoffgehalt von 1,8% ab. Material über 1,8% Kohlenstoff ist Gußeisen, Material mit weniger als 1,8% Kohlenstoff heißt Stahl.

Gußeisen besitzt eine sehr geringe Dehnung und Elastizität. Deshalb kann Gußeisen nicht für Maschinenteile und Gegenstände verwendet werden, die stark auf Zug beansprucht sind. Dafür ist die Druckfestigkeit erheblich größer. Maschinenkörper, Maschinenfundamente, Platten und Säulen, die durchweg auf Druck beansprucht sind, werden vorzugsweise aus Gußeisen hergestellt.

Ein besonderer Vorteil des Gußeisens ist die verhältnismäßig leichte und billige Herstellung der Gußstücke. Es können Werkstücke mit schwierigen Formen gegossen werden, die durch Bearbeitung auf einer Werkzeugmaschine nicht herstellbar sind. Ventilgehäuse, Zylinder, Rippenkörper sind auch durch Schmieden, Walzen, Pressen, Stanzen nicht zu fertigen. Gußeisen ist das billige Material der Massenherstellung für Zahnradkörper, Riemenscheiben, Konsole, Hebel, Bügeleisenkörper, Tür- und Fenstergriffe und viele andere Gegenstände.

Es ist eine besondere Eigenart des Gußeisens, daß seine Eigenschaften nicht nur durch die Zusammensetzung, sondern weitgehend durch den Verlauf der Abkühlung beeinflußt werden. Soll das fertige Gußstück durch Bohren, Drehen, Fräsen, Hobeln leicht bearbeitbar sein, so läßt man das Gußstück in der Sandform, in der es gegossen wurde, langsam erkalten. Solche Gußstücke besitzen geringere Festigkeit. Der im Gußeisen enthaltene Kohlenstoff hat während der langen Abkühlung Gelegenheit, sich aus dem Eisen abzusondern und in Form kleiner dunkler Blättchen zwischen dem Eisen einzulagern. Dadurch sieht die Bruchfläche dieser Gußstücke grau aus. Man nennt diesen Guß Grauguß. Sorgt man für schnelle Abkühlung der Gußstücke, z. B. durch frühzeitiges Freilegen der Gußstücke aus der Gußform, so bleibt der Kohlenstoff im Eisen gebunden. Solches Gußeisen ist härter als Grauguß, die Bruchflächen sehen weiß aus. Man nennt dieses Gußeisen weißes Gußeisen oder wegen seiner größeren Härte Hartguß. Laufräder für Krane, gezahnte Walzen für Walzenbrecher, Pumpenkolben werden als Hartguß hergestellt. Sollen die Gußstücke nur an der Oberfläche besondere Härte besitzen, so werden metallene Platten in die Form gelegt, die man Schreckplatten nennt. Sie kühlen die Außenteile der Gußstücke schnell ab, während der Kern langsamer erkaltet. Solcher Guß heißt Schalenguß. Eisenbahnräder, Stempel und Ziehringe werden als Schalenguß hergestellt.

Röhren, Zylinder und Säulen werden im Schleuderguß gegossen. Das ist ein besonderes Gießverfahren, nicht eine besondere Gußeisensorte.

Gußeisen ist genormt durch das Normblatt DIN 1691. Man findet wie beim Stahl die letzten beiden Stellen der Zahl 1691 in der Markenbezeichnung. Dazu ist in der Regel noch eine Angabe über die Zugfestigkeit beigegeben. Die Bezeichnung Ge 12.91 ist zu lesen: Gußeisen, für das die Gießerei eine Mindestzugfestigkeit von 12 kg/mm² gewährleistet und dessen Eigenschaften und Lieferungsbedingungen im Normblatt DIN 1691 angegeben sind.

Es folgt die Klasseneinteilung des Gußeisens, wie sie nach DIN 1691 festgelegt ist:

a) Bauguß und Handelsguß (Abflußrohre, einfache Gewichte, Zubehörteile für Haus- und Straßenentwässerung ...).

b) Feinguß und Kunstguß (Zierguß für Tierfiguren, Beleuchtungskörper ...).

c) Maschinenguß ohne besondere Gütevorschriften (Werkzeugmaschinenteile ohne besondere Bedeutung ...).

d) Maschinenguß mit besonderen Gütevorschriften (für Maschinenbau, Schiffbau ...).

e) Maschinenguß mit besonderen magnetischen Eigenschaften (elektrische Maschinen).

f) Hartguß (Eisenbahnräder, Druckereiwalzen ...).

g) Säurebeständiger Guß und alkalibeständiger Guß (Seifenschmelzkessel, Säurepumpen ...).
h) Feuerbeständiger Guß (Zubehörteile für Feuerungen ....).
i) Besondere Gußerzeugnisse (Ambosse, Bremsklötze ...).

Fragen zur Wiederholung

7) Welches Eisen ist technisch verwertbar?
8) Wie unterscheiden sich Roheisen, Gußeisen, Stahl?
9) Wird der Schmelzpunkt des Eisens durch den im Eisen enthaltenen Kohlenstoff beeinflußt?
10) Was bedeutet die Bezeichnung Ge 26.91?
11) Warum werden Ketten nicht aus Gußeisen hergestellt?
12) Welche Teile der Einrichtung einer Schlosserwerkstatt sind aus Gußeisen?

Vom Formen und Gießen

In den Lagerhallen der Maschinenfabriken bemerken wir große Stapel von Maschinenteilen, Zahnräder und Riemenscheiben, Gehäuse für Motoren, für Turbinen oder für Pumpen. Alle diese Gußstücke sind Gußrohlinge aus der Eisengießerei. Sie werden nach Bedarf dem Lager entnommen und in der Dreherei, Fräserei oder Hoblerei bearbeitet. Für Neukonstruktionen von Maschinen oder für weniger häufig herzustellende Maschinen werden mitunter Gußteile gebraucht, die wegen ihrer besonderen Form oder Größe nicht lagermäßig vorhanden sind. Sie werden bei der Gießerei besonders bestellt und nach der Anlieferung der Bearbeitungswerkstätte unmittelbar zugeleitet.

Die weitaus größte Zahl aller Gußstücke sind Maschinenteile. Als solche werden sie meist an gut sichtbarer Stelle eingebaut. Hier stehen sie im Vergleich zu den blanken stählernen Wellen und Hebeln und dem Gestänge von Dampfmaschinen oder Werkzeugmaschinen. Daher ist es wichtig, daß alle als Maschinenbauteile verwendeten Gußstücke außer in ihren Werkstoffeigenschaften auch in ihrem Aussehen dieser Verwendung entsprechen. In der Gußputzerei, die jeder Gießerei angeschlossen ist, wird durch ein Sandstrahlgebläse der oft eingebrannte Formsand durch die Gewalt des Strahles entfernt und die Gußhaut abgeschliffen. Dabei nehmen die Gußstücke eine ansprechende blaugraue Färbung an. Betrachten wir solche Gußstücke genauer, so bemerken wir mancherlei, was uns vielleicht zunächst auffällig erscheint. Die Bohrungen der Naben von Zahnrädern, Riemenscheiben, Schwungrädern und Kupplungen wie auch die Bohrungen von Lagerböcken und Büchsen erscheinen im Verhältnis zum Gußstück zu klein. Tatsächlich werden Bohrungen kleiner gegossen, als die Zeichnung des betreffenden Maschinenteils vorschreibt. Bohrungen müssen zu Wellen oder Zapfen genau passen. Würde man den Versuch machen, die Bohrungen

gleich passend zu gießen, so wäre damit zu rechnen, daß ein Teil der Bohrungen von vornherein zu groß ausfiele. Ein anderer Teil der Bohrungen wiederum wäre unrund. Eine Nachbearbeitung aber könnte nicht in Frage kommen, da der hierzu erforderliche Werkstoff am Gußstück nicht vorhanden ist. Noch ungünstiger wirkt es sich aus, wenn die Bohrungen der Räder oder Büchsen exzentrisch liegen. Die Zahnräder, Riemenscheiben und dergleichen würden schlagen, so daß ein richtiges Arbeiten dieser Maschinenteile ausgeschlossen wäre. Anderseits aber wäre es nicht möglich, die Bohrungen der Räder zentrisch nachzuarbeiten, da hierfür erst recht der Werkstoff fehlen würde. Es bleibt somit keine andere Möglichkeit, als die Bohrungen kleiner zu gießen, als in der Zeichnung des fertigen Werkstücks vorgesehen ist, und nachträglich auf das richtige Maß zu bringen. Auf der Drehbank werden die Bohrungen zentrisch und auf die genaue Maßgröße ausgedreht.

An den Zahnrädern fällt uns auf, daß die Zähne etwas ungleich und zu dick sind. Die Dicke der Zähne ist ebenfalls beabsichtigt. Zahnräder müssen mit anderen Zahnrädern möglichst reibungslos zusammenarbeiten. Das ist aber nur möglich, wenn die Abstände von Zahnmitte zu Zahnmitte genau gleich sind und wenn vor allem die Zahnform richtig ausgebildet ist. Auch in diesem Falle reicht die Genauigkeit des Gießverfahrens nicht aus. In der Fräserei sind deshalb die Zahnprofile mit Profilfräsern nachzuarbeiten. Auffallend sind ferner beim Zahnrad die starken Rundungen an den Übergangsstellen der Radarme zum Radkranz und zur Radnabe. Auch hierfür sind ausschließlich technische Gründe maßgebend. Beim Erkalten der Gußstücke in den Gußformen fällt die Temperatur des flüssigen Gußeisens von der Schmelzhitze zur Raumtemperatur. Hierdurch zieht sich das Gußstück stark zusammen — es schwindet, wie der Fachausdruck lautet. Dieses Schwinden ist naturgemäß bei langgestreckten Gußteilen stärker als bei kurzen. Radarme schwinden somit mehr als die Nabe und der Radkranz. Dadurch treten in den Radarmen starke Zugspannungen auf, die an eckig ausgebildeten Übergangsstellen zu Rissen und schließlich zum Bruch führen würden. Diese Gefahr wird durch Ausrundung der Ansatzstellen ausgeschaltet. Die Ausrundung bedeutet gleichzeitig eine Verstärkung des Querschnittes an den gefährdeten Stellen.

Alle Gußstücke weisen mehr oder minder stark gerundete Kanten auf. Gußeisen ist verhältnismäßig spröde. Scharfe Kanten begünstigen daher die Entstehung schadhafter Stellen. Auch lassen sie sich nicht so leicht in der Form ausbilden wie Rundungen. Scharfe Kanten finden wir daher nur dort, wo sie erforderlich sind, wie z. B. bei den Auflageflächen von Lagerböcken und sonstigen Plattenkörpern. Diese Gußstücke müssen fest aufstehen. Rundungen aber an der Auflagefläche würden die Standfestigkeit verringern. Ebenso wäre es verfehlt, Bohrungen etwa von Lagerböcken außen zu runden, da hierdurch die Gleitfläche verkleinert würde.

Wir begeben uns nun in die Bearbeitungswerkstätten und beobachten, wie an einer der vielen Werkzeugmaschinen ein Schwungrad aus der Bearbeitung herausgenommen wird. Beim Abdrehen der Stirnseiten der Nabe wurden eigentümliche Hohlräume freigelegt. Mit dem Schweißbrenner werden in diesem Falle die Hohlräume, Lunker genannt, zugeschweißt. Zeigen sie sich jedoch an wichtiger Stelle, z. B. an den Zähnen eines Zahnrades, so ist ein solches Gußstück als Ausschuß auszumerzen. Wie ist diese Lunkerbildung zu erklären? Gußeisen hat, wie bereits erwähnt, die Eigenschaft zu schwinden. Nun erkalten aber Gußstücke in der Form außen schneller als im Innern. Ebenso erstarren dünnere und freistehende Teile, wie z. B. die Flanschen eines Rohrstückes, schneller als das übrige Gußstück. Dadurch zieht sich der Hauptteil des Gußstückes noch zusammen, während die dünnen oder freistehenden Teile bereits nahezu festgeworden sind. Auf diese Weise bilden sich durch die saugende Wirkung des Schwindens kleine, von außen unsichtbare Hohlräume, die Lunker. Solche Lunkerbildungen lassen sich nie ganz vermeiden. Sie sind bei vielen Gußstücken bedeutungslos. Anders verhält es sich bei Gußstücken, die als Dichtungskörper dienen, wie z. B. bei Kolbenringen. Um fehlerlosen, dichten Gußwerkstoff zu erzeugen, läßt man in eine sich drehende Trommel Gußeisen einfließen. Infolge der Fliehkraft wird das flüssige Gußeisen gegen die Wandung der Trommel geschleudert. Dadurch bildet sich ein Hohlzylinder von geringer Wandstärke und großer Dichte. Aus diesem Hohlzylinder dreht man nun die Kolbenringe für Pumpen, Dampfmaschinen und Verbrennungsmaschinen. In ähnlicher Weise werden auch die Muffenrohre für Gasleitungen hergestellt. Diese Art der Herstellung dichten fehlerfreien Gusses bezeichnet man als Schleudergußverfahren. Beim Schleudergußverfahren ist eine Form nicht erforderlich.

In allen anderen Fällen brauchen wir zum Gießen eine Form aus Sand, Lehm oder, wie beim Schalenguß, aus Metall. Die Sandformerei wird am häufigsten angewendet. Das Einformen in Sand ist leicht und billig durchzuführen. Sandformen gewährleisten eine langsame Abkühlung des Gußstückes. Hierdurch wird das Gußstück gleichmäßig hart.

Um eine Form herstellen zu können, brauchen wir in der Regel ein Modell. Die Modelle bestehen meist aus Holz. Sie werden vom Modelltischler nach Zeichnung angefertigt. Jede Gießerei besitzt eine Sammlung von Modellen derjenigen Gußstücke, die immer wieder herzustellen sind. Wir betrachten ein T-Rohrstück. Es hat einen roten Anstrich und weist an den drei Flanschenden schwarz gestrichene, überstehende zylindrische Ansätze auf. Der Anstrich dient als Schutz gegen die Feuchtigkeit. Die rote Farbe kennzeichnet den eigentlichen Gußkörper. Die schwarze Farbe zeigt an, daß beim Einformen hier ein Hohlraum entstehen muß. Um den Hohlraum im Rohrstück zu erzeugen, muß in die mit Hilfe des Modells hergestellte Form schließlich noch ein Kern aus Lehm eingelegt werden. Die am Modell überstehenden schwarz gestrichenen Zylinder haben den gleichen Durchmesser wie der Kern. Man bezeichnet sie als Kernmarken.

Sie haben den Zweck, die Auflagestellen für den Kern in der Form abzubilden.

Zum Formen äußerlich wenig anspruchsvoller Gußstücke, wie Roststäbe, Platten, Klötze und dergleichen, wendet man das einfachste und billigste Formverfahren an. In der Formereisohle drückt man das Modell in den vorher aufgelockerten Sand und stampft ringsum den beigegebenen Formsand fest. Nach der Herausnahme des Modells ist ein Hohlraum, die Form, entstanden, der nun noch durch mehrere Einlaufkanäle mit einer nahe der Form auszuhebenden flachen Mulde, dem Einguß, zu verbinden ist. Vom Einguß aus ergießt sich das flüssige Gußeisen schnell durch die erwähnten Kanäle in die Form. Nach dem Erkalten nimmt man die Gußstücke aus der Form heraus. Der Einguß und die Einlaufkanäle werden abgeschlagen und die Bruchfläche am Gußstück abgeschliffen. Eine besondere Behandlung dieser Gußstücke in der Gußputzerei ist nicht erforderlich. Diese einfachste, älteste und billigste Einformart ist die Herdformerei. Bei der Herdformerei bleibt die Form nach oben offen. Dadurch bildet sich die Oberfläche rauh und körnig aus.

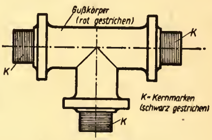


Abb. 56 Modell für ein Rohr-T-Stück

Diese Einformart ist für Maschinenteile nicht anwendbar, da diese bekanntlich von einwandfreier, glatter Beschaffenheit sein müssen. Eine glatte Oberfläche können wir nur in einer allseitig geschlossenen Form erzielen. Zur Herstellung der Form verwenden wir in den meisten Fällen, genau wie bei der Herdformerei, ein Holzmodell. Rohrstücke, Riemenscheiben und andere

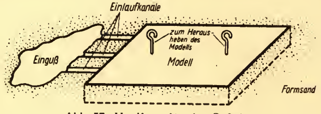


Abb. 57 Herdform für eine Gußplatte

Rundkörper erfordern eine Teilung des Modells in seine Hälften, da sie sonst nicht eingeformt werden können. Die Teile werden durch in entsprechende Löcher eingreifende Dübel unverrückbar festgehalten. Sie lassen sich also voneinander zwar abheben, aber nicht gegeneinander verschieben.

Schwierigere Gußstücke, wie Zylinder, Ventilgehäuse oder Gußstücke mit Ansätzen, Aussparungen und dergleichen, machen oft eine weitere

Unterteilung der Modelle notwendig. Das Einformen der Modelle erfolgt in ringsum geschlossenen gußeisernen Rahmen, Kästen genannt. Geteilte Modelle erfordern die Anwendung von mehreren solchen Kästen übereinander. Damit die Kästen sich nicht gegeneinander verschieben und auf diese Weise die Form gefährden, sind die Kästen mit genau ineinandergreifenden Ösen und Zapfen versehen. Diese Art des Einformens im Kasten bezeichnet man als Kastenformerei.

Zur Herstellung großer runder Gußstücke, wie Zahnräder, Schwungräder, Seilrollen und Gußdeckel, würde die Anfertigung von Modellen zu teuer werden. Um das teure Modell zu ersparen, wendet der Former zur Herstellung der Gußform Schablonen an. Mit Schablonen kann sowohl in Sand wie in Lehm geformt werden. Lehm ist besonders bei schweren Gußstücken mit großer Wandstärke besser geeignet als Sand, da Sand hierfür nicht die notwendige Festigkeit besitzt. Die Formarbeit

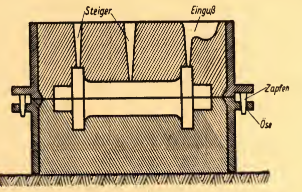


Abb. 58 Form für ein Rohr-T-Stück (geteiltes Modell)

in Lehm ist ähnlich wie beim Glockenguß. Zunächst wird aus Steinen und Lehm die ungefähre Gestalt des Kerns aufgebaut. Um eine aus der Mitte des Kernkörpers ragende Spindel dreht man mit Hilfe einer Schablone die innere Form des Gußkörpers ab. Die so gebildete Kernform läßt man scharf trocknen. Der Hohlraum für das Gußstück entsteht nun wie folgt: Auf die getrocknete Kernform trägt man eine Lehmschicht auf, die durch Asche gegen ein Festbacken auf der Kernform gesichert wird. Dieser Lehmschicht gibt man durch eine zweite Schablone die äußere Form des Gußstückes. Man bezeichnet sie als Hemd. Über diesem Hemd baut man aus Lehm und Lehmsteinen den Mantel. Nach der Fertigstellung schneidet man noch die Kanäle für den Einguß und die trichterförmigen Steiger in den Mantel ein. Durch die Steiger entweicht beim Gießen die Luft aus der Form. Nun wird der Mantel abgehoben und getrocknet. Nach dem Entfernen des auf der Kernform liegenden Hemdes setzt man den Mantel wieder auf. Damit beim Gießen die Form nicht auseinandergetrieben

wird, umstampft man die Form fest mit Formsand. Die Form ist nun fertig zum Guß.

Um die fertigen Gußstücke aus den Sand- oder Lehmformen herausnehmen zu können, muß die Form zerstört werden. Sand- und Lehmformen lassen sich also nur einmal verwenden. Außer den Sand- oder Lehmformen wendet man noch Formen aus Metall an. Metallformen sind Dauerformen. Sie lassen sich für eine große Zahl von Abgüssen verwenden. In den Metallformen kühlen die Gußstücke besonders außen sehr schnell ab. Hierdurch wird die Oberfläche oder die Schale glashart. Den so hergestellten Guß nennt man Schalenguß.

Die vom Gießen her noch an den Gußstücken befindlichen Eingüsse und Steiger schlägt oder sägt man ab. Sie werden im Kupolofen wieder eingeschmolzen. Die Ansatzstellen und etwa vorhandene Gußnähte schleift man an der Schmirgelscheibe ab. Durch das Sandstrahlgebläse gibt man zu guter Letzt den als Maschinenteile zu verwendenden Gußstücken den letzten Schliff. In dieser Form liefern die Eisengießereien die Gußstücke an die Betriebe.

Technisches Rechnen

Das Berechnen des Inhalts von Flächen

Der Handwerker sagt: Das Rechteck nach Abb. 59 ist 10 m lang und 5 m breit. Sein Flächeninhalt ist Länge mal Breite, also $10\ m \cdot 5\ m = 50\ m^2$ (gesprochen Meter hoch 2, früher qm = Quadratmeter).

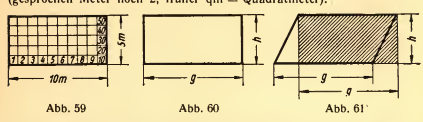


Abb. 59 Abb. 60 Abb. 61

Der Techniker sagt: Das Rechteck nach Abb. 60 hat die Grundlinie g und die Höhe h. Sein Flächeninhalt F ist Grundlinie g mal Höhe h, oder als Formel geschrieben:

$$\boxed{F = g \cdot h}$$

Diese Formel ist für alle Werte von g und h (für alle Längen und Breiten) gültig.

Ist in Abb. 59 $g = 10\ m$ und $h = 5\ m$, so ist

$$F = g \cdot h = 10 \cdot 5 = 50\ m^2$$

Das Parallelogramm (Rhomboid) nach Abb. 61 mit der Grundlinie g und der Höhe h läßt sich durch die gezogenen Hilfslinien in das schraffierte Rechteck mit der gleichen Grundlinie g und der gleichen Höhe h verwandeln. Daher gilt für den Flächeninhalt des Parallelogramms ebenfalls die Formel

$$\boxed{F = g \cdot h}$$

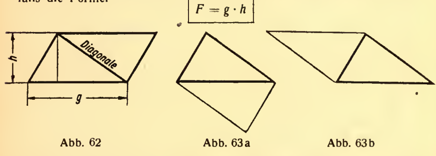


Abb. 62 Abb. 63a Abb. 63b

Das Parallelogramm nach Abb. 62 mit der Grundlinie g und der Höhe h ist durch eine Diagonale (Eckenlinie, Verbindung zwischen zwei einander gegenüberliegenden Ecken) in zwei gleich große Dreiecke zerlegt worden.

Umgekehrt läßt sich jedes Dreieck dadurch in ein Parallelogramm verwandeln, daß man das gleiche Dreieck an einer Seite noch einmal anlegt wie in Abb. 63a und 63b.

Da die Formel für den Flächeninhalt des Parallelogramms $F = g \cdot h$ lautet, so muß die Formel für den Flächeninhalt des Dreiecks als der Hälfte der Fläche eines Parallelogramms lauten:

$$F = \frac{g \cdot h}{2}$$

d. h. der Flächeninhalt des Dreiecks ist gleich Grundlinie mal Höhe geteilt durch 2.

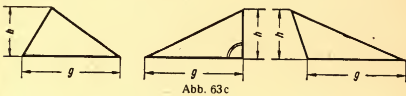


Abb. 63c

Merke: ⊾ = rechter Winkel = 90°.

Die in Abb. 63c dargestellten verschiedenen Dreiecke (spitzwinklig, rechtwinklig und stumpfwinklig) mit der gleichen Grundlinie g und der gleichen Höhe h haben also alle gleichen Flächeninhalt.

1. Beispiel: Wieviel Quadratzentimeter (cm²) Flächeninhalt hat der Querschnitt eines Flachstahles 70 · 16?

Rechnungsgang: Flachstähle sind Stabstähle von rechteckigem Querschnitt. Die Angabe 70 · 16 bedeutet, daß die Breite 70 mm und die Dicke 16 mm beträgt. Stahlabmessungen werden in Millimeter angegeben. Da der Flächeninhalt in cm² zu berechnen ist, setzen wir Breite und Dicke in cm in die Rechnung ein.

Lösung: $F = 7{,}0 \cdot 1{,}6 = 11{,}2\ \text{cm}^2$.

Der Flachstahl hat einen Querschnitt von **11,2 cm²**.

Wir erinnern uns:

1 cm = 10 mm	1 cm² = 100 mm²
1 m = 100 cm	1 m² = 10000 cm²
1 m = 1000 mm	1 m² = 1000000 mm²

2. Beispiel: Der Flächeninhalt des in Abb. 64 dargestellten Lagerplatzes ist zu berechnen.

Rechnungsgang: Wir berechnen zunächst die Rechteckfläche mit der Länge 65,00 m und der Breite 58,00 m. Von dieser Fläche ziehen wir ab die Flächeninhalte des kleineren Rechtecks $F_1 = 37{,}50\ \text{m} \cdot 21{,}25\ \text{m}$ sowie des Dreiecks F_2 mit der Grundlinie 18,00 m und der Höhe 12,25 m.

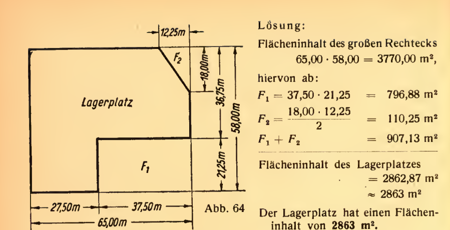


Abb. 64

Lösung:

Flächeninhalt des großen Rechtecks

$65{,}00 \cdot 58{,}00 = 3770{,}00\ \text{m}^2,$

hiervon ab:

$F_1 = 37{,}50 \cdot 21{,}25 \quad = \quad 796{,}88\ \text{m}^2$

$F_2 = \dfrac{18{,}00 \cdot 12{,}25}{2} \quad = \quad 110{,}25\ \text{m}^2$

$F_1 + F_2 \quad = \quad 907{,}13\ \text{m}^2$

Flächeninhalt des Lagerplatzes

$= 2862{,}87\ \text{m}^2$

$\approx 2863\ \text{m}^2$

Der Lagerplatz hat einen Flächeninhalt von **2863 m²**.

Merke: ≈ bedeutet nahezu gleich, rund, etwa.

Nebenrechnungen:

```
65 · 58        37,5 · 21,25 = 21,25 · 37,5        12,25 · 18
520                           10625               ----------
325                           14875                    2
3770                          6375                = 12,25 · 9
                              796,875             = 110,25
                            ≈ 796,88
```

Die Niederschrift der Lösungen muß so übersichtlich ausgeführt werden, daß der Rechnende selbst und jeder Nachrechnende die Lösung überblicken und ihr folgen kann. Man sagt, die Lösung muß prüfungsfähig geschrieben sein. Infolgedessen müssen Gedankensprünge vermieden werden, die einem mit der Sache nicht Vertrauten nicht zugemutet werden können. Alle Nebenrechnungen müssen, soweit sie nicht ohne Schwierigkeit im Kopf ausgeführt werden können, übersichtlich und deutlich geschrieben werden. Sie sind von der Hauptrechnung zu trennen, aber auf das gleiche Blatt zu schreiben. Auf keinen Fall dürfen Löschblatt und Zigarettenschachtel dazu benutzt werden.

Beim Malnehmen soll sich der Anfänger die Rechenarbeit dadurch erleichtern, daß er an die zweite Stelle die Zahl stellt, die aus weniger Ziffern besteht, also in Aufgabe 2 nicht 37,5 · 21,25, sondern 21,25 · 37,5.

Die Aufgabe muß man sich sehr genau durchlesen. Aus ihr geht nämlich meist hervor, wie genau man rechnen muß. Ist nach einer Entfernung in km gefragt, so hat es keinen Zweck, mit einzelnen m und cm zu rechnen. Soll ein Gewicht in kg errechnet werden, so spielt ein einzelnes g keine Rolle mehr. Wird ein genauer Preis verlangt, so rechnet man bis zu 3 Stellen nach dem Komma, damit man auf 1 Rpf. abrunden kann. Es ist aber Zeit- und Kraftvergeudung, vier oder noch mehr Dezimalstellen zu errechnen.

Das fertige Ergebnis sieht man sich noch einmal mit gesundem Menschenverstand an. Man überschlägt die Rechnung im Kopf mit stark abgerundeten Zahlen und prüft, ob das Ergebnis wahrscheinlich ist. Soll 1992,25 durch 3,96 geteilt werden, so weiß man, das Ergebnis muß bei 500 liegen, denn 2000 : 4 = 500.

Man überlegt, welche Größenordnung das Ergebnis haben muß, und stellt fest, ob das Ergebnis denkbar ist. Kommt bei der Rechnung als Gewicht eines Körpers, den man offensichtlich mit einer Hand tragen kann, 115 kg heraus, so ist ein Kommafehler wahrscheinlich. Das Gewicht beträgt vermutlich 11,5 kg.

Wenn man die Lösung beendet zu haben glaubt, dann liest man noch einmal die Aufgabe durch, macht sich noch einmal klar, wonach gefragt war und beendet die Lösung mit einer kurzen und klaren Antwort auf die gestellte Frage.

Das Rechteck und das Parallelogramm haben je zwei parallele Seitenpaare.

Das Trapez dagegen hat nur ein paralleles Seitenpaar und zwei nicht parallele Schenkel. Jedes Trapez läßt sich, wie aus Abb. 65 ersichtlich, in ein Rechteck mit gleichem Flächeninhalt verwandeln. Die Länge des Rechtecks ist gleich der mittleren Länge der parallelen Seiten, gleich der Mittelparallele des Trapezes. Die mittlere Länge ergibt sich aus untere Parallele + obere Parallele geteilt durch zwei, also $g = \frac{a+b}{2}$.

Der Flächeninhalt des Rechtecks ist $F = g \cdot h$, hier also

$$F = \frac{a+b}{2} \cdot h$$

Da das Trapez den gleichen Flächeninhalt hat, ist sein Flächeninhalt ebenfalls

$$\boxed{F = \frac{a+b}{2} \cdot h}$$

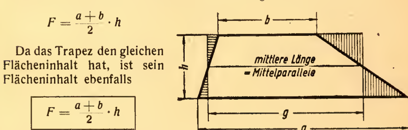


Abb. 65

Als Sonderformen des Trapezes treten in der Praxis auf: das gleichschenklige Trapez (Abb. 66) und das rechtwinklige Trapez (Abb. 67).

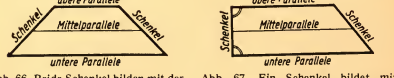


Abb. 66 Beide Schenkel bilden mit der Parallelen gleiche Winkel und sind gleich lang

Abb. 67 Ein Schenkel bildet mit beiden Parallelen je einen rechten Winkel $= 90°$

Beispiel: Ein Gebäude, dessen Querschnitt Abb. 68 darstellt, soll eine Querwand aus Fachwerk erhalten. Die Wand ist in Abb. 68 schraffiert. Wieviel m² Flächeninhalt hat diese Wand?

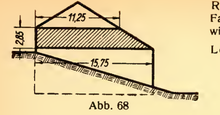


Abb. 68

Rechnungsgang: Die Querwand aus Fachwerk hat die Form eines rechtwinkligen Trapezes.

Lösung:

$$F = \frac{a + b}{2} \cdot h$$

$$F = \frac{15{,}75 + 11{,}25}{2} \cdot 2{,}85 = 38{,}48 \text{ m}^2$$

Die Wand hat einen Flächeninhalt von $\approx$ **38,50 m²**.

Nebenrechnung:

```
   13,5 · 2,85
     675
    1080
    270
    38,475
  ≈ 38,48
```

Der Flächeninhalt der bisher besprochenen Flächen konnte ohne weiteres mit Hilfe einer Formel errechnet werden. Sehen wir aber nun einmal die in Abb. 69 dargestellten Flächen an! Sie stellen je ein allgemeines Viereck dar. Kann auch dieser Flächeninhalt mit Hilfe einer Formel errechnet werden? Man muß das Viereck durch eine Eckenlinie in zwei Dreiecke mit dem Flächeninhalt $F = \frac{g \cdot h}{2}$ zerlegen, so daß sich der Flächeninhalt des gezeichneten Vierecks zu $F = F_1 + F_2$ ergibt.

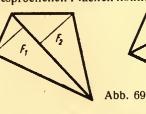


Abb. 69

Abb. 70

Eine in der Technik viel gebrauchte Fläche ist der Kreis (Abb. 70). Wir benennen seinen Durchmesser mit d, seinen Halbmesser (Radius) mit r und seinen Umfang mit U. Der Kreis hat die Eigenschaft, daß das Verhältnis zwischen Umfang und Durchmesser immer das gleiche ist. Es ist bei allen Kreisen Umfang : Durchmesser $= 3{,}14$; $\frac{U}{d} = 3{,}14$. Diese Zahl ist fest, unveränderlich (konstant). Man drückt sie daher durch einen besonderen Buchstaben aus, nämlich den griechischen Buchstaben π, gesprochen pi.

Auch in der Formel für den Flächeninhalt tritt diese Zahl auf. Die Formel lautet:

$$\boxed{F = \frac{d^2 \pi}{4}}$$

Aus der Tatsache, daß in jedem Kreise $\frac{U}{d} = \pi$ ist, erhalten wir noch die Formel für den Umfang des Kreises, indem wir beide Seiten der Gleichung $\frac{U}{d} = \pi$ mit d malnehmen. $\frac{U}{d} \cdot d = d\pi$.

Umfang gleich Durchmesser mal 3,14, als Formel geschrieben:

$$U = d\pi$$

Beispiel: Der in Abb. 71 dargestellte Weg von 8,00 m Breite zweigt von einer Straße ab und führt um einen kreisrunden Platz von 25 m Durchmesser herum. Der Weg soll beiderseits mit Bordsteinen eingefaßt werden. Wieviel lfd. m Bordsteine müssen gesetzt werden?

Lösung: Es sind Bordsteine zu setzen:

1) an beiden Seiten des Weges, der zu dem Platz führt,
2) am Umfang des äußeren Kreises entlang, davon ist die Breite des einmündenden Weges abzuziehen,
3) am Umfang des inneren Kreises entlang.

Abb. 71

Den Umfang des äußeren Kreises nennen wir U_1, den Umfang des inneren Kreises U_2.

$U = d\pi$		
$U_1 = 41 \cdot 3{,}14 = 128{,}74$		
	$-\ 8{,}00$	120,74 lfd. m
$U_2 = 25 \cdot 3{,}14 =$		78,50 lfd. m
$2 \cdot 20{,}0 =$		40,00 lfd. m
		239,24 lfd. m

Es müssen **239,24 lfd. m** Bordsteine gesetzt werden.

Nebenrechnungen:	$3{,}14 \cdot 41$	128,74	$3{,}14 \cdot 25$
	1256	$-\ 8{,}00$	1570
	128,74	120,74	628
			78,50

Das Berechnen des Inhalts von Körpern

Wir berechnen den Rauminhalt eines einfachen Körpers, des Prismas. Abb. 72 stellt ein Prisma mit quadratischer Grundfläche dar. Seine Grundfläche hat den Flächeninhalt $F = 5\text{ cm} \cdot 5\text{ cm} = 25\text{ cm}^2$.

Schneiden wir eine solche Fläche $5\text{ cm} \cdot 5\text{ cm}$ aus einem Brett von 1 cm Stärke heraus, so haben wir bereits ein Prisma mit der Höhe 1 cm. Der Rauminhalt dieses kleinen Prismas ist gleich Grundfläche 25 cm² mal Höhe $1\text{ cm} = 25\text{ cm}^3$ (gesprochen Zentimeter hoch 3, früher ccm = Kubikzentimeter). Legen wir 10 solcher Brettstücke aufeinander, dann entsteht das skizzierte Prisma mit dem Rauminhalt $25\text{ cm}^2 \cdot 10\text{ cm} = 250\text{ cm}^3$.

Als Formel geschrieben ist daher der Rauminhalt jedes Prismas

$$\boxed{V = F \cdot h}$$

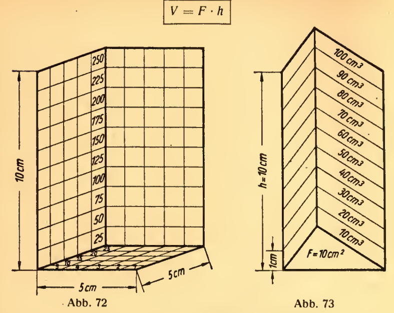


Abb. 72 Abb. 73

Perspektivische Darstellungen, schräg von unten gesehen

Abb. 73 stellt ein Prisma mit dreieckiger Grundfläche dar. Sein Rauminhalt ist

$$V = F \cdot h = 10 \text{ cm}^2 \cdot 10 \text{ cm} = 100 \text{ cm}^3$$

Die Bezeichnung V für Rauminhalt rührt von dem Fremdwort Volumen = Rauminhalt her.

Beispiel: Wieviel cm³ Rauminhalt hat eine Stange Quadratstahl 5 von 2,00 m Länge?

Quadratstahl 5 ist ein Stabstahl mit quadratischem Querschnitt, bei dem die Seite des Quadrats 5 mm beträgt.

Lösung:
$$V = 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 200$$
$$= 50 \text{ cm}^3$$

Die Stange Quadratstahl hat einen Rauminhalt von **50 cm³**.

Wir erinnern uns: 1 cm³ = 1000 mm³
1 dm³ = 1000 cm³
1 m³ = 1000 dm³ = 1000000 cm³

1 dm (sprich Dezimeter) = 10 cm; 1 dm³ entspricht einem Würfel mit der Kantenlänge 10 cm; 1 dm³ = 1 *l* (Liter).

Nun berechnen wir noch den Rauminhalt von Prismen mit trapezförmiger Grundfläche bzw. trapezförmigem Querschnitt. Hier wird genau

so verfahren wie bei einem Prisma mit rechteckiger oder dreieckiger Grundfläche. Der Rauminhalt ist also ebenfalls Grundfläche mal Höhe, als Formel geschrieben:

$$\boxed{V = F \cdot h}$$

Beispiel: Für den Neubau einer Straße wird ein Damm aufgeschüttet, der auf eine Länge von 48,45 m den in Abb. 74 dargestellten Querschnitt hat.

Wieviel Züge Erde müssen angefahren werden? Ein Zug besteht aus 6 Kipploren zu je $\frac{3}{4}$ m³ Inhalt.

Rechnungsgang: Der Damm stellt ein liegendes Prisma dar. Die Grundfläche des Prismas ist der Querschnitt des Dammes, die Höhe ist die Länge des Dammes.

10,00
1,50
14,50

Abb. 74

Lösung:

$$V = F \cdot h$$

$$F = \frac{14{,}50 + 10{,}00}{2} \cdot 1{,}50 = 18{,}38 \text{ m}^2$$

$$V = 18{,}38 \cdot 48{,}45 = 890{,}511 \text{ m}^3$$

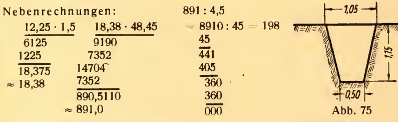
$$\approx 891 \text{ m}^3$$

Ein Zug hat 6 Kipploren, er faßt also $6 \cdot 0{,}75 = 4{,}5$ m³

4,5 m³ faßt 1 Zug

891 m³ fassen $\frac{891}{4{,}5} = 198$ Züge

Es müssen **198 Züge** angefahren werden.



Nebenrechnungen:

12,25 · 1,5	18,38 · 48,45	891 : 4,5
6125	9190	= 8910 : 45 = 198
1225	7352	45
18,375	14704	441
≈ 18,38	7352	405
	890,5110	360
	≈ 891,0	360
		000

Abb. 75

Übungsaufgaben

1) Die Vorderkante eines Stuhlsitzes ist 45 cm lang, die Hinterkante ist 40 cm lang, die Sitztiefe beträgt 45 cm. Wieviel m² Holz sind erforderlich für 25 Stuhlsitze? Der Verschnitt beträgt 25%.
2) Ein Rohrgraben mit dem in Abb. 75 dargestellten Querschnitt ist auf 114,40 m Länge auszuheben.
   Wie teuer wird die Arbeit, wenn 1 m³ Aushub mit 2,90 RM. angeboten ist?
3) Mit wieviel kg wird 1 cm² des Erdbodens durch die in Abb. 76 skizzierte Mauer belastet?
4) Wieviel m³ Holz von der Wichte 0,8 können auf einen Eisenbahnwagen verladen werden, der mit 16500 kg beladen werden darf?
   Der Werkstoff Holz hat keine einheitliche Wichte. Sie schwankt je nach der Holzart und nach dem Feuchtigkeitsgehalt.

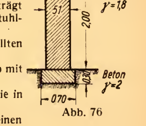


Abb. 76

Prismen, die einen Kreis als Grundfläche haben, nennt man Zylinder oder Walzen. Ihr Rauminhalt ist wie beim Prisma

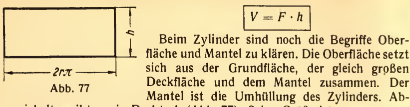


Abb. 77

$$V = F \cdot h$$

Beim Zylinder sind noch die Begriffe Oberfläche und Mantel zu klären. Die Oberfläche setzt sich aus der Grundfläche, der gleich großen Deckfläche und dem Mantel zusammen. Der Mantel ist die Umhüllung des Zylinders. Abgewickelt ergibt er ein Rechteck (Abb. 77). Seine Größe ist:

Mantelfläche = Umfang der Grundfläche mal Höhe des Zylinders.

$$M = d\pi \cdot h$$

Beispiel: Es soll eine Welle aus Flußstahl mit dem Durchmesser $d = 65$ mm und der Länge $l = 1500$ mm hergestellt werden.

Welches Gewicht hat die Welle? ($\gamma = 7{,}85$.)

Lösung: Die Welle hat die Form eines Zylinders oder einer Walze. Es ist nach dem Gewicht gefragt. Das Gewicht eines Körpers in Gramm finden wir, indem wir den Rauminhalt in cm³ mit der Wichte malnehmen: $G = V \cdot \gamma$.

Der Rauminhalt eines Zylinders ist allgemein $V = F \cdot h$.

Die Grundfläche der Welle ist ein Kreis vom Durchmesser $d = 65$ mm. Also rechnen wir:

$$\begin{aligned} V = F \cdot h &= \frac{d^2\pi}{4} \cdot h \\ &= \frac{6{,}5 \cdot 6{,}5 \cdot 3{,}14}{4} \cdot 150 \\ &= 4975{,}5 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Und nun das Gewicht:

$$\begin{aligned} G = V \cdot \gamma = 4975{,}5 \cdot 7{,}85 &= 39058 \text{ g} \\ &\approx 39{,}1 \text{ kg} \end{aligned}$$

Die Welle hat ein Gewicht von **39,1 kg.**

Nebenrechnungen:

6,5 · 6,5	42,25 · 3,14	132,67 : 4	33,17 · 150	4975,5 · 7,85
325	16900	= 33,1675	331,7 · 15	248775
390	4225	≈ 33,17	16585	398040
42,25	12675		3317	348285
	132,6650		4975,5	39057,675
	≈ 132,67			≈ 39058

Übungsaufgaben

5) Auf jeden Quadratzentimeter (cm²) des Kolbens einer Dampfmaschine wirkt ein Dampfdruck von 18 kg. Der Kolbendurchmesser beträgt 640 mm. Wie groß ist der Druck auf die ganze Kolbenfläche?

6) Ein 5 m langes gußeisernes Rohr von 450 mm Innendurchmesser hat einen Außendurchmesser von 480 mm. Wie groß ist sein Gewicht? ($\gamma = 7{,}25$.)

7) Ein Fichtenstamm mit einem unteren Durchmesser von 45 cm, einem oberen Durchmesser von 30 cm und einer Länge von 12,50 m soll zu 28.— RM. je m^3 verkauft werden. Wie hoch ist der Preis des Stammes?
8) Ein Wasserbehälter mit einem Durchmesser von 20 m soll 1500000 *l* Wasser fassen. In welcher Höhe muß der Überlauf angebracht werden, wenn die 1500000 *l* übersteigende Menge abfließen soll?

Das Prisma mit Grundflächen von verschiedenster Form (Rechteck, Dreieck, Trapez) und der Zylinder haben parallele Kanten bzw. Mantellinien. Die Querschnittsfläche bleibt immer die gleiche, wenn der Körper senkrecht zu seiner Achse durchgeschnitten wird. Die Querschnittsfläche ist gleich der Grundfläche. Deshalb ist auch der Rauminhalt von Prisma und Zylinder $V = F \cdot h$ (Grundfläche bzw. Querschnittsfläche mal Höhe).

Nunmehr wollen wir zwei andere Körper genauer betrachten, und zwar die Pyramide und den Kegel (Abb. 78 und 79). Die Pyramide kann, wie das Prisma, Grundflächen von verschiedenster Form haben. Die Grundfläche des Kegels dagegen ist, wie beim Zylinder, ein Kreis. Pyramide und Kegel unterscheiden sich dadurch vom Prisma und Zylinder, daß ihre Kanten bzw. Mantellinien nicht parallel sind, sondern in einer Spitze zusammenlaufen. Bei der Berechnung des Rauminhalts kann nur die Grundfläche eine Rolle spielen, da ja die Größe der Querschnittsfläche in jeder Höhe verschieden ist.

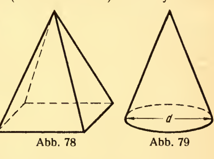


Abb. 78 Abb. 79

Nehmen wir zwei Gefäße von gleicher Grundfläche und gleicher Höhe, das eine in Form eines Prismas, das andere in Form einer Pyramide und füllen diese beiden Gefäße mit Sand oder Wasser, dann stellen wir fest, daß das Fassungsvermögen der Pyramide ein Drittel vom Fassungsvermögen des Prismas ist. Der Rauminhalt des Prismas ist gleich Grundfläche mal Höhe. Also ist der Rauminhalt einer Pyramide gleich Grundfläche mal Höhe geteilt durch 3, als Formel geschrieben:

$$\boxed{V = \frac{F \cdot h}{3}}$$

Der Kegel ist nichts anderes als eine Pyramide mit kreisförmiger Grundfläche. Deshalb ist auch sein Rauminhalt

$$\boxed{V = \frac{F \cdot h}{3}}$$

Da die Grundfläche $F = \frac{d^2\pi}{4}$ ist, wird der Rauminhalt $V = \frac{d^2\pi}{4} \cdot \frac{h}{3}$.

Schneiden wir nun eine Pyramide und einen Kegel parallel zur Grundfläche in irgendeiner Höhe durch, so erhalten wir die abgestumpfte Pyramide (Pyramidenstumpf) und den abgestumpften Kegel (Kegelstumpf; siehe Abb. 80 und 81).

Ihr Rauminhalt kann auf verschiedene Arten berechnet werden, und zwar:

Abb. 80

Abb. 81

1) Rauminhalt des ganzen Körpers (Pyramide oder Kegel) weniger Rauminhalt der abgeschnittenen Spitze (Pyramide oder Kegel). Diese Berechnung ist genau.

2) $\frac{\text{Untere + obere Querschnittsfläche}}{2}$ · Höhe. Diese Berechnung kann nur bei kleinen oder sehr steil verlaufenden Stumpfen angewendet werden. Das Ergebnis ist zu groß.

3) Querschnittsfläche in mittlerer Höhe mal der Höhe des Stumpfes. Diese Berechnung ist genauer als Nr. 2 und wird allgemein angewendet. Das Ergebnis ist etwas zu klein.

Merke: $\frac{\text{Untere + obere Querschnittsfläche}}{2}$ und Querschnittsfläche in mittlerer Höhe sind nicht dasselbe.

Beispiel (Abb. 82): $\frac{\text{Untere + obere Querschnittsfläche}}{2} = \frac{6 \cdot 6 + 3 \cdot 3}{2} = 22{,}50$

Querschnittsfläche in mittlerer Höhe $= \left(\frac{6 + 3}{2}\right)^2 = 4{,}5 \cdot 4{,}5 = 20{,}25$

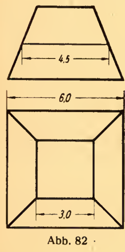


Abb. 82

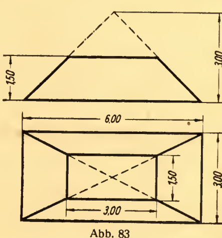


Abb. 83

1. Beispiel: Straßenschotter wird in Form der in Abb. 83 dargestellten abgestumpften Pyramide aufgeschüttet.

Gesucht: Rauminhalt in m^3.

Lösung: Wir wollen zum Vergleich den Rauminhalt nach den vorher beschriebenen 3 Arten feststellen.

Art 1. Ganzer Körper minus Spitze.

Wir bezeichnen Rauminhalt, Grundfläche und Höhe des ganzen Körpers mit V_1, F_1 und h_1, Rauminhalt, Grundfläche und Höhe der Spitze mit V_2, F_2 und h_2. Dann ist $V = V_1 - V_2$.

$$V_1 = \frac{F_1 \cdot h_1}{3} \qquad V_2 = \frac{F_2 \cdot h_2}{3}$$

$$F_1 = 6{,}00 \cdot 3{,}00 = 18{,}00\ m^2 \qquad F_2 = 3{,}00 \cdot 1{,}50 = 4{,}50\ m^2$$

$$V_1 = \frac{18{,}00 \cdot 3{,}00}{3} = 18{,}000\ m^3$$

Hiervon ab

$$V_2 = \frac{4{,}50 \cdot 1{,}50}{3} = 2{,}250\ m^3$$

$$V = V_1 - V_2 = \mathbf{15{,}750\ m^3}$$

Art 2:

$$\frac{\text{untere + obere Querschnittsfläche}}{2} \cdot h$$

$$V = \frac{18{,}00 + 4{,}50}{2} \cdot 1{,}50 = \mathbf{16{,}875\ m^3}$$

Art 3: Querschnittsfläche in mittlerer Höhe mal Höhe des Stumpfes

$$\frac{6{,}00 + 3{,}00}{2} = 4{,}50$$

$$\frac{3{,}00 + 1{,}50}{2} = 2{,}25$$

$$V = 4{,}50 \cdot 2{,}25 \cdot 1{,}50 = \mathbf{15{,}188\ m^3}$$

Art 1. $V = 15{,}750\ m^3$ (genau).
Art 2. $V = 16{,}875\ m^3$ (um $1{,}125\ m^3$ zu groß, zu ungenau).
Art 3. $V = 15{,}188\ m^3$ (um $0{,}562\ m^3$ zu klein, hinreichend genau).

Der Rauminhatl des Schotterhaufens ist nach der hinreichend genauen Art 3 $\approx$ **15,2 m³.**

Nebenrechnungen:

11,25 · 1,5	2,25 · 4,5	10,125 · 1,5
5625	1125	50625
1125	900	10125
16,875	10,125	15,1875 ≈ 15,188

2. Beispiel: Im Kokillenguß werden eine Anzahl kegelstumpfförmige Stahlblöcke von 1200 mm Höhe hergestellt (Abb. 84). Der Grundkreisdurchmesser d_1

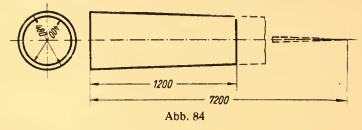


Abb. 84

beträgt 480 mm, der Kopfkreisdurchmesser d_2 beträgt 400 mm. Welches Gewicht hat ein solcher Block? ($\gamma = 7{,}85$.)

Lösung: $G = V \cdot \gamma$.

Zur Ermittelung des Gewichtes berechnen wir zunächst den Rauminhalt in cm³. Alle Abmessungen sind daher in cm in die Rechnung einzutragen. Wir wollen auch in diesem Beispiel nach den 3 Arten rechnen.

Art 1. Ganzer Körper minus Spitze.

Wir bezeichnen Rauminhalt und Fläche des ganzen Körpers mit V_1 und F_1, Rauminhalt und Fläche der Spitze mit V_2 und F_2. Dann ist $V = V_1 - V_2$.

$$V_1 = \frac{F_1 \cdot h_1}{3} \qquad F_1 = \frac{d_1^2 \pi}{4} \text{ (Grundkreis)}$$

$$V_2 = \frac{F_2 \cdot h_2}{3} \qquad F_2 = \frac{d_2^2 \pi}{4} \text{ (Kopfkreis)}$$

$$F_1 = \frac{48 \cdot 48 \cdot 3{,}14}{4} = 1809 \text{ cm}^2 \qquad F_2 = \frac{40 \cdot 40 \cdot 3{,}14}{4} = 1256 \text{ cm}^2$$

$$V_1 = \frac{1809 \cdot 720}{3} = 434160 \text{ cm}^3$$

Hiervon ab

$$V_2 = \frac{1256 \cdot 600}{3} = 251200 \text{ cm}^3$$

$$V = V_1 - V_2 = \mathbf{182960 \text{ cm}^3}$$

Art 2. $\dfrac{\text{untere + obere Querschnittsfläche}}{2} \cdot \text{Höhe}$

$$F \text{ unten} = \frac{48 \cdot 48 \cdot 3{,}14}{4} = 1809 \text{ cm}^2$$

$$F \text{ oben} = \frac{40 \cdot 40 \cdot 3{,}14}{4} = 1256 \text{ cm}^2$$

$$V = \frac{1809 + 1256}{2} \cdot 120 = \mathbf{183900 \text{ cm}^3}$$

Art 3. Querschnittsfläche in mittlerer Höhe mal Höhe des Stumpfes

$$\text{mittlerer Durchmesser} = \frac{48 + 40}{2} = 44$$

$$V = \frac{44 \cdot 44 \cdot 3{,}14}{4} \cdot 120 = \mathbf{182376 \text{ cm}^3}$$

Art 1. 182960 cm³ (genau).
Art 2. 183900 cm³ (um 940 cm³ zu groß, zu ungenau).
Art 3. 182376 cm³ (um 584 cm³ zu klein, hinreichend genau).

Wir rechnen nach der genaueren Annäherungsart, also nach Art 3, weiter:

$$\begin{aligned} G &= V \cdot \gamma \\ &= 182376 \cdot 7{,}85 \\ &= 1431652 \text{ g} \approx 1432 \text{ kg} \end{aligned}$$

Der Block hat ein Gewicht von **1432 kg.**

Nebenrechnungen:

$\frac{48 \cdot \overset{12}{\cancel{48}} \cdot 3{,}14}{\cancel{4}}$

48 · 12
96
48
576

$\frac{1809 \cdot \overset{240}{\cancel{720}}}{\cancel{3}}$

1809 · 240
7236
3618
434160

1809
+ 1256
3065 : 2
= 1532,5
1532,5 · 120
= 15325 · 12
30650
15325
183900

484 · 3,14
1936
484
1452
1519,76 · 120
= ≈ 15198 · 12
= 182376

576 · 3,14
2304
576
1728
1808,64 ≈ 1809

$\frac{1256 \cdot \overset{200}{\cancel{600}}}{\cancel{3}} = 251200$

$\frac{40 \cdot \overset{10}{\cancel{40}}}{\cancel{4}}$

$\frac{44 \cdot \overset{11}{\cancel{44}} \cdot 3{,}14}{\cancel{4}}$

3,14 · 400
= 314 · 4
= 1256

182376 · 7,85
911880
1459008
1276632
1431651,60
≈ 1431652

Merke: Aus diesen zwei Beispielen ist ersichtlich, daß das Ergebnis nach Art 3 für die Praxis hinreichend genau ist, also genügt. Ist die ganze Höhe bekannt, was aber meist nicht der Fall ist, so wird selbstverständlich nach Art 1 gerechnet. Art 2 soll im allgemeinen vermieden werden.

Buchstabenrechnen

Bei der Aufstellung der Formeln für den Flächeninhalt und den Rauminhalt wurden bereits Buchstaben als Zahlen verwendet. Vom Rechnen mit diesen Buchstaben soll das Zusammenzählen und das Abziehen gezeigt werden.

Den Flächeninhalt des Rechtecks nach Abb. 59 errechneten wir zu $F = 10\,\text{m} \cdot 5\,\text{m} = 50\,\text{m}^2$. Hier ist der Flächeninhalt in bestimmten, nur für diesen einen Fall gültigen Zahlen angegeben. Wenn wir dagegen sagen, der Flächeninhalt des Rechtecks nach Abb. 60 ist $F = g \cdot h$, so ist über den Wert der Größen g und h noch nichts gesagt, die Zahlen sind in der Form der Buchstaben noch unbestimmt, sie können jeden bestimmten Wert annehmen. Allerdings muß darauf geachtet werden, daß eine durch Buchstaben ausgedrückte, unbestimmte Zahl in ein und derselben Rechnung immer nur einen Wert haben kann.

Beispiel: Wenn $g = 20$ m und $h = 10$ m ist, dann ergibt sich
$F = g \cdot h = 20 \cdot 10 = 200\,\text{m}^2$.
Wenn $g = 35$ cm und $h = 6$ cm ist, dann ergibt sich
$F = g \cdot h = 35 \cdot 6 = 210\,\text{cm}^2$.

Die allgemeine, unbestimmte Form, die Formel, bleibt die gleiche. Die bestimmten Werte sind dagegen in jeder Rechnung verschieden.

Mit den Buchstaben als unbestimmten Zahlen rechnet man zunächst wie mit bestimmten Zahlen.

Man zählt zusammen (addiert):

$$1 + 1 = 2;\ 1\ \text{Mann} + 1\ \text{Mann} = 2\ \text{Mann};\ 1a + 1a = 2a$$

Die 1 vor den Buchstaben läßt man als selbstverständlich fort. Also $a + a = 2a$.

$$3b + 5b = 8b; \quad 7d + 9d = 16d; \quad 15x + 27x = 42x$$

Dagegen kann man unbestimmte Zahlen, die durch verschiedene Buchstaben dargestellt sind, nicht zusammenzählen. Wie ein Hammer und eine Zange nicht zusammengezählt werden können, sondern immer 1 Hammer + 1 Zange bleiben, so bleibt auch immer $a + b = a + b$, $2b + 3d = 2b + 3d$.

Kommen in einem Ausdruck ein oder mehrere Buchstaben mehrmals vor, so ordnet man sie zunächst nach dem Alphabet und zählt dann die durch gleiche Buchstaben ausgedrückten Größen zusammen.

$$2a + 3b + a + 2b = 2a + a + 3b + 2b = 3a + 5b$$

Man zieht ab (subtrahiert):

$$5 - 3 = 2;\ 5\ \text{Mann} - 3\ \text{Mann} = 2\ \text{Mann};\ 5a - 3a = 2a$$
$$4 - 4 = 0;\ 4\ \text{Mann} - 4\ \text{Mann} = 0;\ 4b - 4b = 0$$
$$16 - 15 = 1;\ 16y - 15y = y\ \text{(die 1 bleibt weg)}$$

Unbestimmte Zahlen, die durch verschiedene Buchstaben dargestellt sind, lassen sich nicht voneinander abziehen. Sind in einem längeren Ausdruck ein oder mehrere Buchstaben mehrmals vertreten, so ordnet man wieder erst nach dem Alphabet und zieht dann ab.

$$10b + 7a - 3b - 2b - 5a = 7a - 5a + 10b - 3b - 2b = 2a + 5b$$

Ebenso wird verfahren, wenn im gleichen Ausdruck zusammengezählt und abgezogen werden soll.

$$a + 2b + 2a - b = a + 2a + 2b - b = 3a + b$$

Damit beim Ordnen und Zusammenfassen längerer Ausdrücke kein Glied vergessen wird, unterstreicht man jedes erfaßte Glied mit einem kurzen waagerechten Strich, z. B. $\underline{2a}$.

Unbestimmte und bestimmte Zahlen können auch im gleichen Ausdruck stehen, sie werden dann ebenso geordnet und zusammengefaßt. Die bestimmten Zahlen stehen nach dem Ordnen am Ende des Ausdrucks.

$$3 - a + 2 + 4a = 4a - a + 3 + 2 = 3a + 5$$

Gleichungen

Die schon benutzten einfachen Formeln $F = g \cdot h$ und $V = F \cdot h$ haben die Form von Gleichungen. Über das Wesen von Gleichungen wollen wir uns noch einmal klar werden.

Eine Gleichung besteht aus:

Linke Seite	Gleichheitszeichen	Rechte Seite
F	$=$	$g \cdot h$
V	$=$	$F \cdot h$

Die linke Seite muß immer gleich der rechten Seite sein.

Die Seiten brauchen nicht gleich auszusehen, aber sie müssen den gleichen Wert darstellen.

Wenn $F = 100$ ist, dann kann
$g = 50$ und $h = 2$ sein, denn $100 = 50 \cdot 2$; oder es kann sein
$g = 25$ und $h = 4$, denn $100 = 25 \cdot 4$; aber es kann nicht sein
$g = 10$ und $h = 11$, denn 100 ist nicht gleich $10 \cdot 11$.

Wir stellen uns die Gleichung vor als eine Waage, die im Gleichgewicht gehalten werden soll und deren Schalen zu diesem Zweck in gleicher Höhe gehalten werden müssen. Die Gewichte auf der linken Seite müssen dann den gleichen Gewichtswert haben wie die Gewichte auf der rechten Seite. Wenn beide Seiten mit 2 kg belastet sind, so wird die Waage im Gleichgewicht sein, gleichgültig, ob auf beiden Seiten ein 2-kg-Gewicht steht, oder ob auf der linken Seite ein 2-kg-Gewicht und auf der rechten Seite zwei 1-kg-Gewichte stehen.

Wollen wir das Gewicht des Quadrateisens feststellen, dessen Rauminhalt wir vorhin zu 50 cm^3 errechnet haben, so legen wir es auf die linke Seite einer Waage. Sein Gewicht ist uns vorläufig unbekannt. Für unbekannte Größen pflegen wir die letzten Buchstaben des Alphabets x, y, z zu benutzen. Setzen wir hier das unbekannte Gewicht des Quadrateisens mit x g an. Die linke Seite der Gleichung, durch die wir das Gewicht berechnen wollen, heißt dann x. Auf die rechte Seite der Waagschale legen wir nun so lange Gewichte auf, also bekannte Größen, bis die Waage im Gleichgewicht ist. Wir legen nacheinander auf: 200 g, 100 g, 50 g, 20 g, 20 g. Die Waage ist im Gleichgewicht. Die rechte Seite heißt nun $200 + 100 + 50 + 20 + 20$. Da das Gleichgewicht hergestellt ist, sind wir berechtigt, zwischen beide Seiten das Gleichheitszeichen zu setzen. Die Gleichung lautet:

$$x = 200 + 100 + 50 + 20 + 20 \qquad x = 390 \text{ g}$$

Die Gleichung dient dazu, eine unbekannte Größe aus mehreren bekannten Größen zu errechnen.

Wir behandeln jetzt das Malnehmen (Multiplizieren) und das Teilen (Dividieren).

Das Zeichen für das Malnehmen ist der Punkt in halber Höhe der Zahlen.

Eine bestimmte und eine unbestimmte Zahl nimmt man dadurch mal, daß man die beiden Zahlen nebeneinander stellt und den Punkt fortläßt.

$2 \cdot 1$ Schraubstock = 2 Schraubstöcke $\quad 2 \cdot 1a = 2 \cdot a = 2a \quad 5 \cdot b = 5b$.

Steht bei der unbestimmten Zahl bereits eine bestimmte Zahl, so werden die bestimmten Zahlen wie immer miteinander malgenommen.

$2 \cdot 3$ Balken = 6 Balken $\quad 2 \cdot 3a = 6a \quad 3 \cdot 4x = 12x$

Zwei unbestimmte Zahlen können beim Malnehmen nur nebeneinander gestellt werden, wobei der Punkt weggelassen wird.

$$a \cdot b = ab \qquad x \cdot y = xy$$

Nach den gleichen Grundsätzen wird verfahren, wenn mehr als zwei bestimmte oder unbestimmte Zahlen miteinander malgenommen werden sollen.

$$a \cdot b \cdot x = abx \qquad 2 \cdot a \cdot x = 2ax \qquad 2a \cdot 3b = 6ab$$

Dabei wird meist so geordnet, daß zuerst die bestimmten Zahlen stehen, dann die Buchstaben in der Reihenfolge des Alphabets.

$$a \cdot x \cdot 3 = 3ax \qquad y \cdot 4 \cdot b = 4by \qquad 2a \cdot 3x \cdot b = 2 \cdot 3 \cdot a \cdot b \cdot x = 6abx$$

Soll eine durch einen Buchstaben ausgedrückte unbestimmte Zahl mehrfach mit sich selbst malgenommen werden, so würde diese Zahl ebensooft nebeneinander stehen.

$a \cdot a \cdot a = aaa$. Man schreibt dieses Ergebnis aber in Form einer Potenz $a \cdot a \cdot a = a^3$. Dabei nennt man a die Grundzahl, und die Zahl, die angibt, wie oft a mit sich selbst malgenommen werden soll, nennt man den Exponenten. Der Exponent wird klein rechts oben neben die Grundzahl geschrieben.

$$d \cdot d = d^2 \qquad b \cdot b \cdot b \cdot b = b^4$$

Zu merken ist: Jede Zahl mit 0 malgenommen ergibt 0.

$$3 \cdot 0 = 0 \qquad a \cdot 0 = 0 \qquad 4ab \cdot 0 = 0$$

Das Zeichen für das Teilen ist der Doppelpunkt oder der Bruchstrich. $6:3$ drückt das gleiche aus wie $\frac{6}{3}$.

Eine bestimmte Zahl durch eine unbestimmte zu teilen oder umgekehrt eine unbestimmte Zahl durch eine bestimmte ist nicht möglich. $2:a$ bleibt $\frac{2}{a}$, $a:3$ bleibt $\frac{a}{3}$.

Ebensowenig lassen sich unbestimmte Zahlen durcheinander teilen, wenn sie durch verschiedene Buchstaben ausgedrückt sind. $a:b$ bleibt $\frac{a}{b}$, $3x:y$ bleibt $\frac{3x}{y}$.

Stehen dagegen bei den unbestimmten Zahlen noch bestimmte Zahlen, die durcheinander teilbar sind, so führt man diese Teilung durch.

$$8x:4 = \frac{8x}{4} = 2x, \qquad 6a:3b = \frac{6a}{3b} = \frac{2a}{b}$$

Unbestimmte Zahlen können nur dann durcheinander geteilt werden, wenn sie die gleichen Buchstaben enthalten.

$$5a:a = \frac{5a}{a} = 5 \qquad 4bx:2b = \frac{\overset{2}{4}bx}{2b} = 2x$$

$$2ab:b = \frac{2ab}{b} = 2a \qquad a^2:a = \frac{a \cdot a}{a} = a.$$

Besonders beachten Sie folgenden Satz: Jede Zahl durch sich selbst geteilt ergibt 1.

$$5:5 = \frac{5}{5} = 1 \qquad b:b = \frac{b}{b} = 1 \qquad 7a:7a = \frac{7a}{7a} = 1$$

$$a^2:a^2 = \frac{a^2}{a^2} = 1 \qquad 1:1 = \frac{1}{1} = 1$$

Übungsaufgaben

9) $2{,}5a + 3b - 1{,}5a = ?$

10) $5\frac{1}{2} - a - 3{,}5 + 2a - 2 - a = ?$

11) $x + \frac{a}{3} + 2x - \frac{1}{3}a = ?$

12) $1{,}1y \cdot 3a = ?$

13) $\frac{r}{2} \cdot 2r = ?$

14) $a \cdot 0 \cdot b \cdot 3{,}7 = ?$

15) $\frac{ax}{x} = ?$

16) $\frac{2{,}7ab}{9b} = ?$

Die vier Grundrechnungsarten des Buchstabenrechnens, das Zusammenzählen und Abziehen, das Malnehmen und Teilen benutzen wir, um die besprochenen Gleichungen umzuformen.

Nehmen wir an, daß auf jeder Waagschale 3 Gewichte zu je 1 kg stehen. Dann ist die Waage zweifellos im Gleichgewicht: $3 \cdot 1$ kg $= 3 \cdot 1$ kg.

Stellen wir auf beiden Seiten noch ein Gewicht von 1 kg dazu, so wird das Gleichgewicht nicht gestört: 3 kg + 1 kg = 3 kg + 1 kg.

Nehmen wir auf beiden Seiten ein Gewicht von 1 kg weg, so wird weiterhin Gleichgewicht bestehen: 3 kg — 1 kg = 3 kg — 1 kg.

Legen wir auf beide Seiten das 3fache Gewicht, so wird auch dann Gleichgewicht herrschen: 3 kg $\cdot 3 = 3$ kg $\cdot 3$.

Nehmen wir auf beiden Seiten nur $\frac{1}{3}$ des Gewichts, so wird der Gleichgewichtszustand nicht geändert: $\frac{3\text{ kg}}{3} = \frac{3\text{ kg}}{3}$.

Man darf also auf beiden Seiten die gleiche Zahl zuzählen,
auf beiden Seiten die gleiche Zahl abziehen,
auf beiden Seiten mit der gleichen Zahl malnehmen,
auf beiden Seiten durch die gleiche Zahl teilen,

ohne daß der Gleichgewichtszustand der Waage sich verändert.

Wir dürfen daher diese Rechnungsarten auch an Gleichungen vornehmen, ohne befürchten zu müssen, daß die Gleichungen falsch werden. Nur muß die gleiche Rechnungsart zur gleichen Zeit auf beiden Seiten mit der gleichen Zahl durchgeführt werden.

1. Beispiel: Es ist die unbekannte Zahl x zu errechnen aus der Gleichung $x - 1 = 2$. Auf der linken Seite steht 1 weniger als x. Wenn ich also auf beiden Seiten 1 zuzähle, werde ich links x und rechts den Wert von x erhalten.

$$x - 1 + 1 = 2 + 1$$
$$x = 3$$

2. **Beispiel**: Es ist die unbekannte Zahl y zu errechnen aus der Gleichung $y + a = 3a$. Auf der linken Seite steht a mehr als y. Wenn ich also a auf beiden Seiten abziehe, wird links y und rechts der Wert von y stehen.

$$y + a - a = 3a - a$$
$$y = 2a$$

3. **Beispiel**: Es ist die unbekannte Zahl g zu errechnen aus der Formel für den Flächeninhalt eines Rechtecks. $F = g \cdot h$. Dabei nehme ich an, daß mir F und h in diesem Falle bekannt sind. Zunächst muß die Formel so verändert werden, daß die unbekannte Zahl g auf der linken Seite steht. Das erreiche ich durch Vertauschen der Seiten. $g \cdot h = F$. Jetzt muß die Formel so abgeändert werden, daß h auf der linken Seite allein steht. Da links h mal g steht, muß ich auf beiden Seiten durch h teilen.

$$\frac{g \cdot h}{h} = \frac{F}{h}; \qquad g = \frac{F}{h}$$

Übungsaufgaben

17) Stellen Sie die Formel für den Rauminhalt eines Prismas $V = F \cdot h$ so um, daß h auf der linken Seite allein steht.

18) Stellen Sie die Formel für den Flächeninhalt eines Trapezes $F = \frac{a+b}{2} \cdot h$ so um, daß einmal a auf der linken Seite allein steht, einmal b und einmal h!

Die Formel für den Flächeninhalt eines Trapezes hatten wir geschrieben $F = \frac{a+b}{2} \cdot h$. Auf der rechten Seite steht ein Bruch, der mit einer Zahl malgenommen werden muß. Diese Zahl kann hinter den Bruch geschrieben werden, wie es bei dem Beispiel $F = \frac{a+b}{2} \cdot h$ geschehen ist. Im Rechnen mit bestimmten Zahlen nimmt man einen Bruch mit einer Zahl mal, indem man den Zähler mit der Zahl malnimmt. Für das Rechnen mit unbestimmten Zahlen (Buchstaben) gilt das gleiche. In unserem Beispiel kann also der Zähler $a + b$ mit h malgenommen werden. Würden wir schreiben $F = \frac{a + b \cdot h}{2}$, so würden wir keineswegs den ganzen Bruch mit h malnehmen, sondern nur die Zahl b. Setzen wir $a = 3$, $b = 5$, $h = 7$ ein. Dann ergibt sich $F = \frac{3+5}{2} \cdot 7 = \frac{8}{2} \cdot 7 = 28$. Schreiben wir falsch $F = \frac{3 + 5 \cdot 7}{2}$, dann erhalten wir $F = \frac{38}{2} = 19$. Es muß heißen $F = \frac{3 \cdot 7 + 5 \cdot 7}{2} = 28$. Damit dem Auge sofort deutlich wird, daß der ganze Zähler, nicht nur der Teil b, mit h malgenommen werden soll, setzt man den Zähler in eine Klammer: $F = \frac{(a+b)\,h}{2}$.

Die Klammer muß gesetzt werden, wenn ein mehrgliedriger Ausdruck mit einer Zahl malgenommen werden soll. Unter einem mehrgliedrigen Ausdruck versteht man mehrere Zahlen, die durch Pluszeichen oder Minuszeichen miteinander verbunden sind. Soll die Klammer wegfallen,

so ist jedes Glied in der Klammer mit der Zahl malzunehmen, die vor oder hinter der Klammer steht. $(a + b)h = ah + bh$.

Beispiele: $3a \cdot b = 3ab$; es ist keine Klammer erforderlich.

$(3 + a)\, b = 3b + ab$; jedes Glied in der Klammer muß mit der Zahl b malgenommen werden.

$3 + (a + b)\, 2 = 3 + 2a + 2b$; hier sollte nur das 2. und 3. Glied mit 2 malgenommen werden, deshalb stehen diese beiden Glieder in Klammern, nicht dagegen das erste.

$2a\,(b - 1) + 3a = 2ab - 2a + 3a = 2ab + a$; ob die Zahl, mit der malgenommen werden soll, vor oder hinter der Klammer steht, ist gleichgültig.

Wir wiederholen: Ein Klammerausdruck wird mit einer Zahl malgenommen, indem jedes Glied in der Klammer mit der Zahl malgenommen wird. Die Klammer fällt nach dem Malnehmen weg.

Haben wir bei einer Rechnung einen mehrgliedrigen Ausdruck erhalten, bei dem alle Glieder durch dieselbe Zahl teilbar sind, so können wir diese Zahl ausklammern. Wir stellen dann diese Zahl vor eine Klammer und setzen in die Klammer alle Glieder, nachdem sie durch die Zahl geteilt worden sind. In dem Ausdruck $2a + 2b$ sind die beiden Glieder durch 2 teilbar. Sie können also die 2 ausklammern.

$$2a + 2b = 2\,(a + b)$$

Überzeugen Sie sich davon, ob Sie richtig gerechnet haben. Sie haben eine Zahl vor einer Klammer. Wenn Sie jedes Glied in der Klammer mit der Zahl vor der Klammer malnehmen, so muß der zuerst gegebene Ausdruck wieder herauskommen.

$$2\,(a + b) = 2a + 2b$$

1. Beispiel: $3ab + a$; a ist in beiden Gliedern enthalten $a\left(\frac{3ab}{a} + \frac{a}{a}\right)$; beide Glieder sind durch a geteilt und in die Klammer gesetzt worden, vor der a steht.

$$3ab + a = a\,(3b + 1)$$

2. Beispiel: $3ab - 3b + 3$; alle Glieder sind durch 3 teilbar.

$$3\left(\frac{3ab}{3} - \frac{3b}{3} + \frac{3}{3}\right)$$

$$3ab - 3b + 3 = 3\,(ab - b + 1)$$

3. Beispiel: $9ab - 6b$; beide Glieder sind durch $3b$ teilbar.

$$9ab - 6b = 3b\,(3a - 2)$$

Zur Wiederholung rechnen wir je 1 Beispiel zur Flächen- und Körperberechnung durch.

1. Beispiel: Ein Handwerksmeister mußte an die Gemeinde ein Grundstück mit einem Flächeninhalt von 1344,60 m² abtreten und wird dafür durch einen gleich großen Platz entschädigt. Dieser Platz liegt zwischen zwei festliegenden Grundstücken, die 41,50 m voneinander entfernt sind. Wie breit muß der Platz werden?

Rechnungsgang: Der Platz hat rechteckige Form. Sein Flächeninhalt wird also gerechnet nach der Formel $F = g \cdot h$. Bekannt sind uns F und g, unbekannt ist die Breite h. Wir müssen also h allein auf die linke Seite der Gleichung bringen. Dazu vertauschen wir zunächst die Seiten der Gleichung $g \cdot h = F$. Dann müssen wir beide Seiten durch g teilen: $\frac{g \cdot h}{g} = \frac{F}{g}$, also ist die Breite $h = \frac{F}{g}$.

Lösung: Breite des Platzes $= \frac{1344{,}60}{41{,}50}$

$= 32{,}40$ m

Der Platz muß **32,40 m** breit werden.

2. Beispiel: Ein Wasserbehälter muß einen Rauminhalt von 126,5 m³ erhalten. Er hat eine rechteckige Grundfläche. Seine Höhe und seine Länge sind durch die sonstige Fabrikanlage bestimmt, sie betragen 4,40 m und 6,25 m. Wie breit muß der Behälter werden?

Rechnungsgang: Die Formel für den Rauminhalt des Behälters lautet $V = F \cdot h$, wovon uns V und die Höhe h bekannt sind. Wir müssen also F errechnen und bringen dazu F allein auf die linke Seite der Gleichung. Dies erreichen wir durch Vertauschen der Glieder der Gleichung $F \cdot h = V$ und durch Teilen beider Seiten durch h: $\frac{F \cdot h}{h} = \frac{V}{h}$. Es ist also $F = \frac{V}{h}$. Wir wissen aber, daß der Flächeninhalt $F = g \cdot h$ ist. Die Länge g ist uns bekannt. Um die Breite h zu erhalten, gehen wir genau so vor wie oben:

$$F = g \cdot h \qquad g \cdot h = F \qquad \frac{g \cdot h}{g} = \frac{F}{g} \qquad h = \frac{F}{g}$$

Lösung: Grundfläche des Wasserbehälters $= \frac{126{,}50}{4{,}40}$

$= 28{,}75$ m²

Breite des Wasserbehälters $= \frac{28{,}75}{6{,}25}$

$= 4{,}60$ m

Der Wasserbehälter muß **4,60 m** breit werden.

Übungsaufgaben

19) Zur Anbringung von elektrischen Lampen für die städtische Straßenbeleuchtung werden 50 kegelstumpfförmige Stahlrohre bestellt. Die hohlen Stahlrohre sollen bei einer Länge von 6 m am unteren Ende einen Durchmesser $d_1 = 240$ mm, am oberen Ende einen Durchmesser $d_2 = 140$ mm haben. Die Wandstärke der Rohre soll 10 mm betragen. Wie groß ist das Gewicht der 50 Stahlrohre? ($\gamma = 7{,}85$.)

20) Eine Maschinenfabrik bestellt zur Herstellung von Kegelrädern bei einer Gießerei 30 Rohlinge aus Stahlguß in der durch Skizze dargestellten Form (Abb. 85). Der Kilopreis des Gusses beträgt 0,42 RM. Was kosten die Rohlinge? ($\gamma = 7{,}85$.)

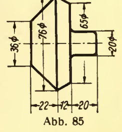


Abb. 85

21) Zur Herstellung eines großen Schwungrades sind 1,8 t Stahlguß erforderlich. Zum Vergießen dieser Stahlmenge dient eine Gießpfanne mit folgenden Innenabmessungen:

Höhe	h	$= 720$ mm
Großer Durchmesser	d_1	$= 540$ mm
Kleiner Durchmesser	d_1	$= 360$ mm.

Wie oft muß die Gießpfanne gefüllt werden, wenn bei jeder Füllung nur mit fünf Sechsteln des Fassungsvermögens der Gießpfanne gerechnet werden kann? ($\gamma = 7{,}85$)

22) Der Volksempfänger für Wechselstrom (VE 301 W) verbraucht 16 Watt (16 W). Ein Besitzer eines solchen Gerätes hört täglich 3 Stunden die Rundfunkübertragungen. Um wieviel vergrößert sich seine Elektrizitätsrechnung im Monat August gegenüber dem vorangehenden Monat, in dem er das Gerät noch nicht besaß? Das Elektrizitätswerk berechnet ihm für 1 Kilowattstunde (1 kWh) 42 Rpf.

23) $25b + 16a - 13b + 4a = ?$

24) $18 - a + 17{,}5 + 6{,}5a - 4{,}2 = ?$

25) $7a \cdot 9b \cdot x = ?$

26) $\dfrac{104{,}5xy}{26{,}125x} = ?$

27) $27x = 837$

28) $18y = 4{,}5$

29) $2a(4b - 3c) - 5ab - 3ac = ?$

30) $(24a - 48b + 56b) : 8 = ?$

31) $36ab - 24b = ?$

32) $\dfrac{x}{3} = \dfrac{x}{4} + 2$

33) $28x - 4x - 3 = 5$

34) Bei einer Gießerei werden 25 gußeiserne Rohlinge zur Herstellung von Büchsen als Wellenführungen bestellt. Die Büchsen sollen die gezeichnete Form und die eingetragenen Abmessungen besitzen (Abb. 86). Wie teuer wird die Lieferung, wenn 1 kg des Gusses 0,38 RM. kostet? ($\gamma = 7{,}25$.)

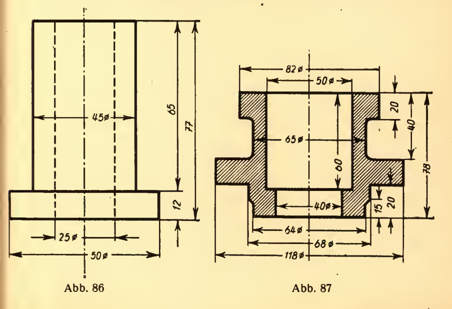


Abb. 86 Abb. 87

35) Wie groß ist die Gewichtsersparnis bei dem gezeichneten Stopfbuchsengehäuse (Abb. 87), wenn es anstatt aus Gußeisen ($\gamma = 7{,}25$) aus Duraluminium ($\gamma = 2{,}8$) hergestellt wird?

36) $x + \frac{a}{b} = \frac{a}{b}$

37) $3 + \frac{x}{2} = 5$

38) $ay + 2ay = 3a$

39) $\frac{y}{4} + 2y - \frac{y}{2} = 7$

40) $x(a + 3) = 2a + 6$

Potenzen

Wir haben den Flächeninhalt eines Rechtecks festgestellt als Produkt der Länge und Breite. Das „Quadrat" ist ein Rechteck mit vier gleichen Seiten. Wir können daher den Flächeninhalt des Quadrats ausdrücken mit der Formel

$$F = a \cdot a = a^2$$

Der Flächeninhalt eines Quadrats von 4 cm Seitenlänge ist daher:

$$F = 4 \text{ cm} \cdot 4 \text{ cm} = 16 \text{ cm}^2$$

Wir haben hier „a und 4 in der 2. Potenz" und lesen „a hoch 2" und „16 cm hoch 2" oder „16 Quadratzentimeter".

Ein Prisma, dessen Kanten gleich lang sind, nennt man Würfel; wir können also den Rauminhalt des Würfels mit der Formel schreiben:

$$V = \text{Grundfläche} \cdot \text{Höhe} = \text{Länge} \cdot \text{Breite} \cdot \text{Höhe} = a \cdot a \cdot a = a^3$$

Der Rauminhalt eines Würfels mit 4 cm Seitenlänge ist somit

$$V = 4 \text{ cm} \cdot 4 \text{ cm} \cdot 4 \text{ cm} = 64 \text{ cm}^3$$

Es sind hier „a und 4 in die 3. Potenz" gesetzt, und wir lesen:

„a hoch 3" und „64 cm hoch 3"

In diesen Potenzen heißt a bzw. 4 die „Grundzahl" (Basis) und 2 bzw. 3 die „Hochzahl" (Exponent). Die Hochzahl gibt also an, wie oft die Grundzahl mit sich selbst malgenommen werden soll.

Während man die Ausrechnung eines Produktes „Malnehmen" (Multiplizieren) nennt, wird die Ausrechnung einer Potenz „Potenzieren" genannt. Wir potenzieren z. B. 5 mit 3, indem wir 5 dreimal als Faktor setzen, und finden $5^3 = 5 \cdot 5 \cdot 5 = 125$. Umgekehrt sagt man, 125 ist die „3. Potenz von 5".

Besonders zu merken ist, daß benannte Zahlen nur potenziert werden können, wenn sie in ein und derselben Maßeinheit ausgedrückt sind. Man kann also nicht ohne weiteres 4 m · 4 cm potenzieren; auch kann man nicht ohne Maßumwandlung 120 cm · 1,60 m nehmen. Es muß gesetzt werden:

$4 \text{ m} \cdot 4 \text{ cm} = 4 \text{ m} \cdot 0{,}04 \text{ m} = 0{,}16 \text{ m}^2$ oder $4 \text{ m} \cdot 4 \text{ cm} = 400 \text{ cm} \cdot 4 \text{ cm} = 1600 \text{ cm}^2$ und $120 \text{ cm} \cdot 1{,}60 \text{ m} = 120 \text{ cm} \cdot 160 \text{ cm} = 19200 \text{ cm}^2$ oder

$$120 \text{ cm} \cdot 1{,}60 \text{ m} = 1{,}20 \text{ m} \cdot 1{,}60 \text{ m} = 1{,}92 \text{ m}^2$$

Merken Sie sich außerdem:

1) Es ist ein großer Unterschied zwischen a^3 und $a \cdot 3$
   Setzen Sie $a = 5$, so ist $a^3 = 5^3 = 5 \cdot 5 \cdot 5 = 125$,
   jedoch $a \cdot 3 = 5 \cdot 3 = 15$
2) Das Zusammenzählen und Abziehen von Potenzen ist nur möglich, wenn diese gleiche Grundzahlen und Hochzahlen haben. Es ergibt daher z. B. $a^4 + 3a^4 = 4a^4$, $6a^5 + 4a^5 = 10a^5$, dagegen bleibt
   $$a^4 + 3a^3 = a^4 + 3a^3$$
3) Grundzahl und Hochzahl sind nicht vertauschbar. In der Summe $2 + 3$ können Sie die beiden Posten $2 + 3$ vertauschen; die Summe ist immer 5 ($2 + 3$ gibt 5 und $3 + 2$ gibt ebenfalls 5). Das Produkt $2 \cdot 3$ behält ebenfalls seinen Wert 6, wenn Sie die Faktoren vertauschen, auch $3 \cdot 2$ gibt 6. Dagegen ergibt die Potenz
   $2^3 = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$, aber die Potenz
   $3^2 = 3 \cdot 3 \quad = 9$;
   lediglich 2^4 und 4^2 ergeben zufällig denselben Wert 16.
4) Potenzen mit gleicher Grundzahl werden malgenommen, indem man ihre Hochzahlen zusammenzählt.
   $$a^5 \cdot a^2 = \underbrace{a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot a}\cdot\underbrace{a \cdot a} = a^{5+2} = a^7$$
5) Potenzen mit gleicher Grundzahl werden geteilt, indem man ihre Hochzahlen voneinander abzieht.
   $$\frac{a^7}{a^2} = \frac{a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot a}{a \cdot a} = a^{7-2} = a^5$$

Da die Ausrechnung der Potenzen, das „Potenzieren", im allgemeinen umständlich und zeitraubend ist, entnimmt man in der Praxis die Werte der Potenzen meist Tabellen.

Übungsaufgaben

41) Eine Möbelfabrik hat 120 eichenfurnierte Tischplatten von $108 \cdot 108$ cm Seitenlänge anzufertigen. Wieviel m² Eichenfurniere werden bei beiderseitiger Furnierung unter Zugrundelegung eines Verschnitts von 25% benötigt?
42) Welche Wassermenge faßt ein Wasserbehälter, dessen Länge, Breite und Höhe je 3,08 m beträgt?
43) $7x^3 - 2x^2 + 10x^3 + 8x^2 - 11x = ?$ 44) $3a^2 \cdot 5a = ?$ 45) $\frac{16y^2}{4y} = ?$

Wurzeln

Das Gegenteil des Zusammenzählens ist das Abziehen, des Malnehmens ist das Teilen. Da sowohl beim Zusammenzählen als auch beim Malnehmen die Summanden bzw. Faktoren vertauschbar sind (es ergibt $5 + 9$ wie auch $9 + 5 = 14$ und $5 \cdot 9$ und $9 \cdot 5 = 45$), so ist auch durch die umgekehrte

Rechnung der gesuchte Summand oder Faktor jeweils ohne weiteres zu finden. Zusammenzählen und Malnehmen haben daher nur je eine Umkehrung.

Anders liegt die Sache beim Potenzieren. Hier sind, wie früher erwähnt, die Faktoren nicht vertauschbar; die Potenz 2^3 hat als Grundzahl 2, als Hochzahl 3; es kann entweder die Grundzahl oder die Hochzahl gesucht werden.

Wird die Grundzahl gesucht, d. h. sind Potenz und Hochzahl bekannt, so ist die Wurzelrechnung anzuwenden.

Wir wollen uns mit dem Begriff des Wurzelziehens näher befassen.

Potenz 8 und Hochzahl 3 sind bekannt; die Grundzahl wird gesucht. Dies bringen wir zum Ausdruck, indem wir schreiben:

$$\sqrt[3]{8} = ?, \text{ gesprochen: 3. Wurzel aus } 8 = ?$$

(Das Zeichen $\sqrt{\ }$ ist das Wurzelzeichen, die darübergestellte Zahl die jeweilige Hochzahl, welche die Potenz ergab.) Es ist $2^3 = 8$; daraus ergibt sich, daß umgekehrt $\sqrt[3]{8} = 2$ sein muß. Wie wir in obigem Beispiel mit der $\sqrt[3]{\ }$ (dritten Wurzel) rechneten, so gibt es natürlich auch Wurzeln mit anderen Hochzahlen, z. B. der Hochzahl 2 ($\sqrt[2]{\ }$ = zweite Wurzel). Die zweiten Wurzeln heißen gewöhnlich „Quadratwurzeln" oder kurz „Wurzeln"; bei ihnen läßt man auch die Hochzahl weg und schreibt einfach: $\sqrt{\ }$. Die Quadratwurzeln kommen am häufigsten von allen Wurzeln vor.

Beispiele: $\sqrt{9} = 3$ (Wurzel aus $9 = 3$), denn $3^2 = 9$

$\sqrt{169} = 13$ (Wurzel aus $169 = 13$), denn $13^2 = 169$

Zu merken ist:

1) Jede Potenz von + 1 ist gleich 1, von 0 ist gleich 0. Demgemäß ist auch jede Wurzel aus 1 gleich 1, aus 0 gleich 0.
2) Man kann nur Potenzen mit gleichen Grund- und Hochzahlen zusammenzählen und abziehen; genau so ist es mit den Wurzeln. Nur gleichartige Wurzeln kann man durch Zusammenzählen und Abziehen vereinigen.

Beispiele: $\sqrt{3} + 5\sqrt{3} = 6\sqrt{3}$

$$\sqrt{3} - 2\sqrt{4} + 2 + \sqrt{4} + 5\sqrt{3} = 6\sqrt{3} - \sqrt{4} + 2$$

Für die Anwendung der Wurzelberechnungen in der Praxis gilt sinngemäß das bei den Potenzen Gesagte; auch hier ist die Ausrechnung meist sehr umständlich. Zum Wurzelziehen verwendet man daher ebenfalls Tabellen.

Übungsaufgaben

46) $\sqrt{25}$; $\sqrt{81}$; $\sqrt{121}$; $\sqrt{1}$; $\sqrt{900}$; $\sqrt{0,09}$; $\sqrt{0,64}$; $\sqrt{\frac{9}{16}}$; $\sqrt{\frac{81}{100}} = ?$

47) $\sqrt[3]{27}$; $\sqrt[3]{0}$; $\sqrt[3]{125}$; $\sqrt[3]{1000}$; $\sqrt[3]{0,064} = ?$

48) $\sqrt[3]{7} + 2\sqrt{7} - 4 + 3\sqrt[3]{7} - 4\sqrt[3]{7} + 2 = ?$

49) In einem quadratischen Saal soll die Grundfläche 144 m² sein. Wie lang muß jede Seite werden?

Praktische Anwendungen von Potenz und Wurzel

Nachdem wir das Grundlegende über die Potenzen und Wurzeln behandelten, soll noch einiges über die praktische Anwendung dieser Rechnungsarten gesagt werden.

Wir erwähnten, daß hierfür meist Tabellen verwendet werden. Trotzdem ist es notwendig, daß Sie sich gewisse Potenzen und Wurzeln einfacher Zahlen, die immer wieder vorkommen, merken, um unnötige Arbeit mit den Tabellen zu vermeiden. Sowohl in den Beispielen als auch in den Übungsaufgaben fanden Sie Zahlen, deren Potenzierung ein leichtes war, oder aus denen Sie ohne große Mühe die Wurzeln ziehen konnten. Sobald Sie sich nochmals klarmachen, daß das Potenzieren nichts anderes ist als ein Malnehmen der Zahl mit sich selbst und das Wurzelziehen die Umkehrung davon, so wird das Kopfrechnen auch auf diesem Gebiet keine Schwierigkeiten machen. Nötig ist aber, daß man im Einmaleins sattelfest ist.

Die Potenzen der Zahlen 1 bis 10 kennen wir aus dem kleinen Einmaleins:

$1^2 = 1 \cdot 1 = 1$ $\quad 7^2 = 7 \cdot 7 = 49$

$2^2 = 2 \cdot 2 = 4$ $\quad 8^2 = 8 \cdot 8 = 64$

$3^2 = 3 \cdot 3 = 9$ $\quad 9^2 = 9 \cdot 9 = 81$

$4^2 = 4 \cdot 4 = 16$ $\quad 10^2 = 10 \cdot 10 = 100$

$5^2 = 5 \cdot 5 = 25$ $\quad 11^2 = 11 \cdot 11 = 121$

$6^2 = 6 \cdot 6 = 36$ $\quad 12^2 = 12 \cdot 12 = 144$

Umgekehrt ist zu merken:

$\sqrt{1} = 1$ $\quad \sqrt{25} = 5$ $\quad \sqrt{81} = 9$

$\sqrt{4} = 2$ $\quad \sqrt{36} = 6$ $\quad \sqrt{100} = 10$

$\sqrt{9} = 3$ $\quad \sqrt{49} = 7$ $\quad \sqrt{121} = 11$

$\sqrt{16} = 4$ $\quad \sqrt{64} = 8$ $\quad \sqrt{144} = 12$

Etwas schwieriger ist das Rechnen mit 3. Potenzen und Wurzeln, trotzdem aber müssen Sie von diesen Potenzen wenigstens diejenigen der Zahlen 1 bis 5 im Kopf haben und wissen, daß

$1^3 = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$

$2^3 = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$

$3^3 = 3 \cdot 3 \cdot 3 = 27$

$4^3 = 4 \cdot 4 \cdot 4 = 64$

$5^3 = 5 \cdot 5 \cdot 5 = 125$ sind.

Umgekehrt ist:

$\sqrt[3]{1} = 1; \quad \sqrt[3]{8} = 2; \quad \sqrt[3]{27} = 3; \quad \sqrt[3]{64} = 4; \quad \sqrt[3]{125} = 5$

Leicht merken lassen sich auch die Potenzen der Zehner- und Hunderterzahlen. Wir erhalten die 2. Potenz, indem wir die 1. Ziffer potenzieren und dann doppelt soviel Nullen anhängen, wie die Grundzahl Nullen hatte.

Beispiele:	$10^2 =$	$10 \cdot 10 =$	100	($1 \cdot 1 = 1$, zwei Nullen anhängen!)
	$30^2 =$	$30 \cdot 30 =$	900	($3 \cdot 3 = 9$, „ „ „)
	$70^2 =$	$70 \cdot 70 =$	4900	($7 \cdot 7 = 49$, „ „ „)
	$100^2 =$	$100 \cdot 100 =$	10000	($1 \cdot 1 = 1$, vier „ „)
	$200^2 =$	$200 \cdot 200 =$	40000	($2 \cdot 2 = 4$, „ „ „)
	$500^2 =$	$500 \cdot 500 =$	250000	($5 \cdot 5 = 25$, „ „ „)
	$1000^2 =$	$1000 \cdot 1000 =$	1000000	($1 \cdot 1 = 1$, sechs „ „)

Für das Quadratwurzelziehen gilt: Die Zahl, aus der wir die Wurzel ziehen wollen, teilen wir von rechts nach links in Gruppen zu zwei Ziffern ab. Die linke, zuletzt abgeteilte Gruppe erhält so 1 oder 2 Stellen, aus denen Sie im Kopf leicht die Wurzel ziehen können. Für jede weitere Stellengruppe, die Sie abgeteilt haben, muß die Wurzel eine Stelle zugeteilt erhalten, ehe Sie das Komma setzen. Betrachten Sie die Beispiele:

$\sqrt{810000} = \sqrt{81\,00\,00} = 9\,0\,0$ (Die Zahl unter der Wurzel hat 3 Gruppen, die Lösung 3 Stellen!)

$\sqrt{900} = \sqrt{9\,00} = 3\,0$ (2 Gruppen — 2 Stellen!).

Wenn die Zahl unter der Wurzel nicht so einfach zu überblicken ist, so können Sie mit der genannten Rechenregel doch die Größenordnung der Lösung im Kopfe schätzen. Das ist oft zur Überprüfung einer Rechnung sehr wichtig. Üben Sie selbst ähnliche Beispiele:

$\sqrt{8203} = \sqrt{82\,03} = 9.,..$ rund: 90 (2 Gruppen — 2 Stellen)

$\sqrt{358293} = \sqrt{35\,82\,93} = 6..,..$ rund: 600 (3 Gruppen — 3 Stellen).

Die genauen Lösungen entnehmen Sie am besten immer Tabellen. Ähnlich verfahren Sie, wenn Zehner- oder Hunderterzahlen in die 3. Potenz erhoben werden oder für solche Zahlen eine 3. Wurzel zu ziehen ist. Wir potenzieren die 1. Ziffer und hängen für jede Null der Grundzahl in der Lösung 3 Nullen an.

Beispiele: $30^3 = 27000$ (denn: $3^3 = 27$, Grundzahl hat 1 Null, also sind 3 Nullen anzuhängen!)

$200^3 = 8000000$ (denn: $2^3 = 8$, 2mal 3 Nullen anhängen!)

Für das Wurzelziehen teilen wir die Zahl von rechts nach links in Gruppen zu 3 Ziffern auf. Aus der letzten verbleibenden Gruppe, die 1 oder 2 oder 3 Ziffern aufweisen kann, ziehen wir die Wurzel. Für jede abgeteilte Zifferngruppe müssen wir der Wurzel aus der ersten Zifferngruppe eine Stelle zusetzen, ehe wir das Komma setzen.

$\sqrt[3]{64000} = \sqrt[3]{64\,000} = 40$ (denn: $4^3 = 64$)

Ebenso finden Sie: $\sqrt[3]{1000} = \sqrt[3]{1\,000} = 10$

$\sqrt[3]{8000} = \sqrt[3]{8\,000} = 20$

Was haben wir nun zu machen, um Dezimalbrüche und gewöhnliche Brüche zu potenzieren oder die Wurzel aus ihnen zu ziehen?

Bekanntlich wird eine Dezimalzahl mit einer anderen malgenommen, indem bei beiden Zahlen das Komma zunächst überhaupt nicht berücksichtigt wird. Die Zahlen werden also wie ganze Zahlen miteinander malgenommen. Beim Produkt werden dann von rechts nach links durch das Komma so viele Stellen abgestrichen, wie bei den beiden Faktoren zusammen Stellen rechts vom Komma vorhanden sind, z. B.

$$5{,}084 \cdot 16{,}15 = 82{,}10660$$

Genau so gehen wir beim Potenzieren vor. Da bei der 2. Potenz die Grundzahl 2mal, bei der 3. Potenz 3mal mit sich selbst malgenommen wird, sind beim Ergebnis im ersteren Falle doppelt, im letzteren Falle 3mal soviel Stellen von rechts nach links durch das Komma abzustreichen, wie in der Grundzahl Stellen hinter dem Komma sind.

Beispiele:

$$1{,}2^2 = 1{,}2 \cdot 1{,}2 = 1{,}44$$
$$0{,}8^2 = 0{,}8 \cdot 0{,}8 = 0{,}64$$
$$0{,}05^2 = 0{,}05 \cdot 0{,}05 = 0{,}0025$$
$$0{,}1^3 = 0{,}1 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}1 = 0{,}001$$
$$0{,}3^3 = 0{,}3 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}3 = 0{,}027$$
$$0{,}04^3 = 0{,}04 \cdot 0{,}04 \cdot 0{,}04 = 0{,}000064$$

Sind aus Dezimalzahlen die Wurzeln zu ziehen, so haben wir wieder das umgekehrte Verfahren anzuwenden wie beim Potenzieren.

Beispiele:

$$\sqrt{0{,}49} = 0{,}7, \text{ da } 0{,}7 \cdot 0{,}7 = 0{,}49$$
$$\sqrt{0{,}0036} = 0{,}06, \text{ da } 0{,}06 \cdot 0{,}06 = 0{,}0036$$
$$\sqrt[3]{0{,}008} = 0{,}2, \text{ da } 0{,}2 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}2 = 0{,}008$$

Einfach ist das Potenzieren gewöhnlicher Brüche; wir haben hier Zähler und Nenner für sich zu potenzieren, also

$$\left(\tfrac{7}{9}\right)^2 = \tfrac{7}{9} \cdot \tfrac{7}{9} = \tfrac{49}{81}$$
$$\left(\tfrac{2}{5}\right)^3 = \tfrac{2}{5} \cdot \tfrac{2}{5} \cdot \tfrac{2}{5} = \tfrac{8}{125}$$
$$\left(1\tfrac{2}{3}\right)^3 = \left(\tfrac{5}{3}\right)^3 = \tfrac{125}{27} = 4\tfrac{17}{27}$$

Sind die Wurzeln aus gewöhnlichen Brüchen zu ziehen, so ist dies, wie beim Potenzieren, für Zähler und Nenner getrennt durchzuführen.

Beispiele:

$$\sqrt{\frac{36}{49}} = \frac{\sqrt{36}}{\sqrt{49}} = \frac{6}{7}, \text{ da } \left(\frac{6}{7}\right)^2 = \frac{6}{7} \cdot \frac{6}{7} = \frac{36}{49}$$
$$\sqrt[3]{\frac{27}{125}} = \frac{\sqrt[3]{27}}{\sqrt[3]{125}} = \frac{3}{5}, \text{ da } \left(\frac{3}{5}\right)^3 = \frac{3}{5} \cdot \frac{3}{5} \cdot \frac{3}{5} = \frac{27}{125}$$

50) In einem quadratischen Zimmer von 6 m Wandlänge ist der Fußboden mit Linoleum zu belegen. Wieviel m^2 werden davon benötigt, wenn 10% Verschnitt zuzuschlagen sind?

51) Was kostet ein quadratischer Bauplatz von 30 m Seitenlänge, wenn 1 m^2 13,50 RM. kostet?

52) Für Schweißtische hat ein Schlossermeister 120 Schwarzblechplatten $0{,}70 \cdot 0{,}70$ m anzufertigen. Wieviel m^2 Blech braucht er dafür?

53) Für die Fundamente von 12 Eisenbetonsäulen, die eine Querschnittsfläche von $0{,}30 \cdot 0{,}30$ m haben, sind die Fundamentgruben auszuschachten; diese sollen nach allen Seiten 5 cm größer als die Säulenbreite sein und eine Tiefe von 40 cm haben. Wieviel m^3 Erde sind auszuheben? (Abb. 88.)

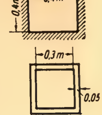


Abb. 88

Tabellenrechnen

Beim Rechnen können wir oftmals an Zeit sparen, wenn wir Zahlentafeln (Tabellen) benutzen.

Die allgemeinen Zahlentafeln helfen beim Potenzieren, Wurzelziehen, Ausrechnen von Kreisumfängen und Kreisinhalten sowie beim Suchen des Durchmessers von solchen Kreisen, deren Umfänge oder Inhalte bekannt sind.

Oben in der ersten Spalte der allgemeinen Zahlentafel steht $n = d$. Der Buchstabe n bedeutet numerus, d. h. Zahl, der Buchstabe d bedeutet Durchmesser. Senkrecht unter $n = d$ steht eine Reihe von Zahlen, von denen wir irgendeine zum Rechnen herausgreifen können. Senkrecht unter n^2 stehen die Quadratzahlen zu den unter $n = d$ aufgeführten Grundzahlen. Unter n^3 stehen die dritten Potenzen (Kubikzahlen), unter $\sqrt{n}$ die Quadratwurzeln und unter $\sqrt[3]{n}$ die Kubikwurzeln. Unter $d \cdot \pi$ finden wir die Kreisumfänge und unter $\frac{d^2 \pi}{4}$ die Kreisflächen der Kreise vom Durchmesser $n = d$.

Greifen wir z. B. die Zahl $n = 3{,}5$ heraus, so finden wir, wenn wir von 3,5 waagerecht nach rechts gehen, senkrecht unter n^2 die Quadratzahl $3{,}5^2 = 3{,}5 \cdot 3{,}5$ mit 12,25; unter n^3 finden wir die Kubikzahl $3{,}5^3 = 3{,}5 \cdot 3{,}5 \cdot 3{,}5$ mit 42,875; unter $\sqrt{n}$ finden wir die Quadratwurzel, also $\sqrt{3{,}5}$, mit 1,871 und unter $\sqrt[3]{n}$ die Kubikwurzel, also $\sqrt[3]{3{,}5}$, mit 1,518; unter $d \cdot \pi$ finden wir den Umfang des Kreises vom Durchmesser $d = 3{,}5$, also $3{,}5 \cdot \pi$, mit 10,996 und unter $\frac{d^2 \pi}{4}$ den Flächeninhalt dieses Kreises, also $\frac{3{,}5^2 \cdot \pi}{4}$, mit 9,6211.

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$d \cdot \pi$	$\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$
3,5	12,25	42,875	1,871	1,518	10,996	9,6211

Umgekehrt finden wir, wenn ein Kreisumfang $U = 10{,}996$ oder eine Kreisfläche $F = 9{,}6211$ gegeben ist, den Durchmesser $d = 3{,}5$. In diesen beiden Fällen gehen wir von den unter $d \cdot \pi$ bzw. $\frac{d^2 \pi}{4}$ angegebenen Zahlen waagerecht nach links hinüber bis zur Spalte $n = d$, wo wir den zugehörigen Durchmesser finden.

1. **Beispiel**: Eine quadratische Plattform hat eine Seitenlänge von 2,3 m. Wieviel Quadratmeter Bohlenbelag werden hierzu benötigt?

Für $n = 2{,}3$ finden Sie $n^2 = 5{,}29$.

Es werden demnach für den Bohlenbelag der Plattform **5,29 m²** Bohlen benötigt.

2. **Beispiel**: Eine quadratische Fundamentplatte soll 1,7 m² groß werden. Wie groß ist die Seitenlänge zu wählen?

Für $n = 1{,}7$ finden Sie $\sqrt{1{,}7} = 1{,}304$.

Die Platte erhält eine Seitenlänge von mindestens **1,30 m.** (Die 4 mm werden vernachlässigt, da die Längenangabe mit 1,30 m eine genügende Genauigkeit besitzt.)

Merke: In der Technik werden die Werte nicht mit größerer Genauigkeit angegeben, als praktisch erforderlich ist.

3. **Beispiel**: Wie groß ist die Querschnittsfläche eines Rundeisens von 6 mm Durchmesser?

Für $d = 6$ finden Sie $\frac{d^2 \pi}{4} = 28{,}27$; also $= 28$ mm² $= 0{,}28$ cm².

Der Querschnitt beträgt **0,28 cm²**.

4. **Beispiel**: Der Umfang eines Ringes soll 10 cm betragen. Wie groß muß sein Durchmesser gewählt werden?

Die Zahl 10 finden Sie nicht unter $d \cdot \pi$, deswegen nehmen Sie die im Wert nächstliegende Zahl. Für $d \cdot \pi = 10{,}053$ finden Sie $d = 3{,}2$.

Der Durchmesser ist **3,2 cm** groß.

Die allgemeine Zahlentafel der Technischen Tabellen kann auch für solche Zahlen benutzt werden, die durch Malnehmen oder Teilen der angeführten Zahlen mit 10 oder 100 oder 1000 usw. entstehen. Greifen wir z. B. die Zahl $n = 24{,}5$ heraus, so bekommen wir durch Malnehmen der Zahl 24,5 mit 10 die Zahl 245 (das Komma verschiebt sich 1 Stelle nach rechts); durch Malnehmen der Zahl 24,5 mit 100 bekommen wir die Zahl 2450 (das Komma verschiebt sich 2 Stellen nach rechts); und durch Malnehmen der Zahl 24,5 mit 1000 bekommen wir die Zahl 24500 (das Komma verschiebt sich 3 Stellen nach rechts). Teilen wir die Zahl 24,5 durch 10 bzw. 100 oder 1000, so erhalten wir 2,45 bzw. 0,245 bzw. 0,0245.

Das Komma verschiebt sich also nach links. Um wieviel sich nun bei den übrigen Tabellenwerten, die zu der Grundzahl $n = 24{,}5$ gehören, das Komma nach rechts oder links verschiebt, das ersehen wir aus der folgenden Tabelle.

Verschiebung des Kommas

	$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$d \cdot \pi$	$\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$
	24,5	600,3	14706	4,950	2,904	76,97	471,4
Nach rechts	245	60030	14706000	—	—	769,7	47140
Nach links	2,45	6,003	14,706	—	—	7,697	4,714
	1 Stelle	2 Stellen	3 Stellen	—	—	1 Stelle	2 Stellen
	24,5	600,3	14706	4,950	2,904	76,97	471,4
Nach rechts	2450	—	—	—	—	—	—
Nach links	0,245	—	—	—	—	—	—
	2 Stellen	4 Stellen	6 Stellen	1 Stelle	—	2 Stellen	4 Stellen
	24,5	600,3	14706	4,950	2,904	76,97	471,4
Nach rechts	24500	—	—	—	—	—	—
Nach links	0,0245	—	—	—	—	—	—
	3 Stellen	6 Stellen	9 Stellen	—	1 Stelle	3 Stellen	6 Stellen

Suchen wir z. B. die Tabellenwerte für die Grundzahl 245, so verschieben wir bei der Grundzahl 24,5 der Tabelle das Komma 1 Stelle nach rechts. Die Quadratzahl zu der Grundzahl 245 finden wir, indem wir bei der unter n^2 angeführten Quadratzahl 600,3 das Komma 2 Stellen nach rechts verschieben. 245^2, d. h. $245 \cdot 245$, ist also 60030. Um die Kubikzahl von 245 zu finden, ist bei der unter n^3 angegebenen Zahl 14706 das Komma 3 Stellen nach rechts zu verschieben: $245^3 = 14706000$.

Um $\sqrt{245}$ und $\sqrt[3]{245}$ zu finden, können wir die für die Grundzahl 24,5 angegebenen Werte nicht benutzen.

Merke: Die Quadratwurzel kann mit Hilfe der Tabelle nur gezogen werden, wenn bei der Grundzahl $n = d$ das Komma 2 oder 4 oder 6 usw. Stellen versetzt wird, die Kubikwurzel nur bei Versetzung um 3 oder 6 usw. Stellen.

Der Kreisumfang für den Durchmesser $d = 245$ kann jedoch wieder bei der Grundzahl 24,5 gefunden werden. Bei der unter $d \cdot \pi$ angegebenen Zahl 76,97 ist das Komma um eine Stelle nach rechts zu verschieben. Für $d = 245$ ist der Umfang $245 \cdot \pi = 769{,}7$. Den Flächeninhalt für den Durchmesser $d = 245$ finden wir, indem wir bei der unter $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ angegebenen Zahl 471,4 das Komma 2 Stellen nach rechts verschieben.

$$F = \frac{245^2 \cdot \pi}{4} = 47140$$

Suchen wir die Tabellenwerte für die Zahl 2,45, so teilen wir die Grundzahl 24,5 durch 10. Wir erhalten 2,45; das Komma verschiebt sich also um 1 Stelle nach links. Um $2{,}45^2$ zu erhalten, ist bei $n^2 = 600{,}3$ das Komma 2 Stellen nach links zu verschieben: $2{,}45^2 = 6{,}003$. Um $2{,}45^3$ zu erhalten, ist bei $n^3 = 14706$ das Komma 3 Stellen nach links zu verschieben: $2{,}45^3 = 14{,}706$. Bei $d \cdot \pi$ ist das Komma um 1 Stelle, bei $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ um 2 Stellen nach links zu verschieben.

$$2{,}45 \cdot \pi = 7{,}697 \text{ und } \frac{2{,}45^2 \cdot \pi}{4} = 4{,}714$$

Wird das Komma bei der Grundzahl nicht nur um 1 Stelle nach rechts oder links verschoben, sondern um 2 oder 3 Stellen, so ist bei den übrigen Tabellenwerten das Komma so zu verschieben, wie das in der Tabelle über die Verschiebung des Kommas angegeben ist.

1. Beispiel: Eine Schlackengrube hat innen eine quadratische Grundfläche von 1,25 m Seitenlänge und eine Höhe von 1,05 m. Wie groß ist ihr Rauminhalt?

Lösung: Der Rauminhalt ist $V = F \cdot h = 1{,}25^2 \cdot 1{,}05$. In der Tabelle finden wir den Wert $n = 1{,}25$ nicht angegeben. Wir finden jedoch 12,5 und verschieben das Komma eine Stelle nach links. Dann ist bei dem Wert $n^2 = 156{,}3$ das Komma 2 Stellen nach links zu verschieben.

Also ist $1{,}25^2 = 1{,}563$. V ist dann $1{,}56 \cdot 1{,}05 = 1{,}638$.

Die Richtigkeit der Stellenzahl eines Ergebnisses prüfen wir zweckmäßig durch eine Überschlagsrechnung nach. In unserem Fall war $1{,}25^2$ mit 1,05 malzunehmen. 1,25 runden wir auf 1 ab, desgleichen 1,05. Dann rechnen wir $1^2 \cdot 1 = 1$. Das Ergebnis muß also, da wir beide Zahlen abgerundet haben, etwas größer als 1 sein, es ist 1,638.

Der Inhalt der Grube beträgt 1,638 m³ ≈ **1,6 m³.**

2. Beispiel: Der Durchmesser des Sägeblattes einer Kreissäge beträgt 400 mm. Wie groß ist der Umfang des Sägeblattes?

Lösung: Der Wert $n = 400$ ist in der Tabelle nicht zu finden. Deswegen nehmen wir den Wert 4,0 und verschieben das Komma 2 Stellen nach rechts. Bei $d \cdot \pi = 12{,}566$ ist dann das Komma auch zwei Stellen nach rechts zu verschieben. $400 \cdot \pi$ ist also 1256,6.

Der Umfang des Sägeblattes beträgt 1256,6 ≈ **1257 mm.**

3. Beispiel: Wieviel m³ Wasser faßt ein zylinderförmiger Wasserbehälter von 1860 mm innerem Durchmesser und 4450 mm Länge?

Lösung: Der Rauminhalt soll in m³ ausgerechnet werden. Deswegen müssen wir alle Maße in m in die Rechnung einsetzen. Der Durchmesser ist also mit 1,86 m einzusetzen. Die Formel für die Berechnung des Rauminhaltes eines Zylinders ist, wie aus früheren Beispielen bekannt ist, $V = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h$. Der Rauminhalt des Wasserbehälters ist somit $\frac{1{,}86^2 \cdot \pi}{4} \cdot 4{,}45$.

In der Zahlentabelle ist $d = 1{,}86$ nicht zu finden. Wir können jedoch den Wert $d = 18{,}6$ benutzen, indem wir das Komma eine Stelle nach links verschieben. Bei

dem Tabellenwert $\frac{d^2 \cdot \pi}{4} = 271{,}7$ ist dann das Komma 2 Stellen nach links zu verschieben. $\frac{1{,}86^2 \cdot \pi}{4}$ ist also 2,717 und $V = 2{,}717 \cdot 4{,}45 = 12{,}09065 \approx 12 \text{ m}^3$.

Auch hier ist es zweckmäßig, die Stellenzahl durch eine Überschlagsrechnung zu prüfen. Wir runden $d = 1{,}86$ auf 2 auf, π auf 3 und 4,45 auf 4 ab. Wir erhalten dann: $V = \frac{2^2 \cdot 3}{4} \cdot 4 = 12 \text{ m}^3$.

Der Wasserbehälter faßt **12 m³** Wasser.

Übungsaufgaben

Bei der Lösung der folgenden Aufgaben sollen Sie soweit wie möglich die allgemeinen Zahlentafeln benutzen.

54) Mit Hilfe der allgemeinen Zahlentafel und der Tabelle über die Kommaverschiebung sind folgende Werte zu bestimmen.

$$324^2, \quad \sqrt{1450}, \quad \sqrt[3]{2900}, \quad 0{,}54 \cdot \pi, \quad \frac{0{,}13^2 \cdot \pi}{4}$$

55) Ein würfelförmiger Kohlenbunker hat 1,35 Kantenlänge. Wieviel t Kohlen faßt er, wenn 1 m³ dieser Kohle geschichtet 820 kg wiegt?

56) Ein zylinderförmiger Kessel hat einen Durchmesser von 1,38 m und eine Länge von 3,4 m. Wieviel m² Blech sind für den Mantel des Kessels erforderlich?

57) Ein Schacht von 1,12 m ⌀ wird mit einer Riffelblechplatte abgedeckt. 1 m² dieses Riffelbleches wiegt 94 kg. Wie schwer ist die Platte?

58) Ein würfelförmiges Betonfundament hat eine Seitenlänge von 1,4 m. Wieviel kg Zement werden benötigt, wenn je m³ fertigen Betons 200 kg Zement verbraucht werden sollen?

59) Ein Wasserleitungsrohr von 15 cm innerem Durchmesser und 30 m Länge soll innen mit einem Isolieranstrich versehen werden. Wieviel m² Isolieranstrich sind auszuführen?

60) Ein zylinderförmiger Gasbehälter von 10 m Höhe soll ein Fassungsvermögen von 5100 m³ bekommen. Wie groß muß der lichte Durchmesser des Behälters werden?

61) In einem Eisenbetonunterzug liegen 4 Rundeisen von 14 mm Durchmesser und 2 Rundeisen von 18 mm Durchmesser. Wieviel cm² Querschnittsfläche haben die 6 Eisen zusammen?

Bei Benutzung der allgemeinen Zahlentafeln kann es vorkommen, daß man die gegebene Zahl auch nicht mit Hilfe der Kommaverschiebung aus den Tabellenzahlen ablesen kann. Dann ist entweder die im Wert nächstliegende Zahl zu wählen oder aber, wenn ein genaueres Ergebnis erforderlich ist, eine Zwischenwertbestimmung durchzuführen.

Ist z. B. die Zahl $n = 11{,}85$ gegeben und wird hierzu die Quadratzahl gesucht, so kann eine von den beiden Quadratzahlen der in gleicher Nähe liegenden Grundzahlen 11,8 und 11,9 genommen werden. Ist ein genaueres Ergebnis erforderlich, so rechnen wir den Zwischenwert aus. Hierbei gehen wir von der Annahme aus, daß das Quadrat von $n = 11{,}85$ in demselben

Verhältnis zwischen den Quadraten von 11,8 und 11,9 liegt, wie die Zahl 11,85 zwischen diesen beiden Zahlen liegt. Da 11,85 in der Mitte zwischen 11,8 und 11,9 liegt, nehmen wir an, daß auch $11{,}85^2$ in der Mitte zwischen deren Quadraten, also in der Mitte zwischen 139,2 und 141,6 liegt. In Wirklichkeit liegt $11{,}85^2$ nicht ganz genau zwischen 139,2 und 141,6, doch ist der Unterschied so gering, daß wir ihn vernachlässigen können. Der Unterschied der beiden Quadrate ist $141{,}6 - 139{,}2 = 2{,}4$. Der halbe Unterschied ist 1,2. Also ist $11{,}85^2$ um 1,2 größer als $139{,}2 = 140{,}4$. Probe:

$$\begin{array}{r} \underline{11{,}85 \cdot 11{,}85} \\ \underline{5925} \\ 9480 \\ 1185 \\ \underline{1185} \\ 140{,}4225 = 140{,}4 \end{array}$$

Liegen die Ver ältnisse nicht so einfach wie in dem angeführten Beispiel, so führen wir zweckmäßig eine Nebenrechnung aus.

Es soll z. B. das Quadrat von 16,66 aufgeschlagen werden. Der gesuchte Wert liegt zwischen $16{,}6^2$ und $16{,}7^2$. In einer kleinen zweispaltigen Hilfstabelle mit den Überschriften n und n^2 tragen wir in der Mitte der Spalte n den angegebenen Wert 16,66 ein und darüber bzw. darunter den nächstliegenden kleineren bzw. größeren Wert für n aus der Tabelle, nämlich 16,6 und 16,7. Die zu diesen beiden Grundzahlen gehörenden Quadratzahlen 275,6 und 278,9 schreiben wir daneben in die Spalte n^2. Dann

n	n^2
16,6	275,6
→ 16,66	277,6
16,7	278,9

bilden wir folgende Unterschiede: Zuerst den Unterschied U_1 zwischen der gegebenen Zahl und der nächst kleineren der Tabelle, also hier $U_1 = 16{,}66 - 16{,}6 = 0{,}06$. Dann stellen wir den Unterschied U_2 der beiden Tabellenwerte fest, zwischen denen die gesuchte Quadratzahl liegen muß, also $U_2 = 278{,}9 - 275{,}6 = 3{,}3$. Nun suchen wir den Unterschied zwischen der gesuchten Quadratzahl und der nächst kleineren Quadratzahl 275,6. Wir nennen ihn U_3. Es verhält sich U_3 zu U_1 (das ist der entsprechende Unterschied der Spalte n) wie U_2 (das ist der Gesamtunterschied der Spalte n^2) zum Gesamtunterschied der Spalte n, das ist in unserer allgemeinen Zahlentabelle immer 0,1. Also

$$\frac{U_3}{U_1} = \frac{U_2}{0{,}1}$$

Der zur kleineren Quadratzahl 275,6 zuzuzählende Wert ist demnach:

$$U_3 = \frac{U_1 \cdot U_2}{0{,}1} = \frac{10 \cdot U_1 \cdot U_2}{10 \cdot 0{,}1} = 10 \cdot U_1 \cdot U_2, \text{ in Zahlen:}$$

$$U_3 = 10 \cdot 0{,}06 \cdot 3{,}3 = 1{,}98 \approx 2{,}0$$

Addieren wir $U_3 \approx 2$ zu 275,6, so erhalten wir $275{,}6 + 2{,}0 = 277{,}6$. Dieses Ergebnis wird in der Mitte der Spalte n^2 eingesetzt und durch einen kleinen Pfeil gekennzeichnet.

Ein weiteres Zahlenbeispiel hierzu.

Wir suchen den Flächeninhalt des Kreises mit dem Durchmesser $d = 54{,}82$. Wir finden in der Zahlentabelle Seite 7 als nächstliegenden kleineren Durchmesser $d = 54{,}8$ und als nächstliegenden größeren Durchmesser $d = 54{,}9$. Die hierzu gehörenden Flächeninhalte sind 2359 und 2367. Die Werte schreiben wir uns, wie im vorigen Beispiel beschrieben wurde, in der kleineren Hilfstabelle auf.

d	$\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$
54,8	2359
54,82	2360,6 ←
54,9	2367

U_1 finden wir mit $54{,}82 - 54{,}8 = 0{,}02$
U_2 ist $2367 - 2359 = 8$
U_3 ist dann $10 \cdot U_1 \cdot U_2 = 10 \cdot 0{,}02 \cdot 8 = 1{,}6$.

Nun zählen wir 1,6 zu 2359 zu und erhalten 2360,6. $\frac{54{,}82^2 \cdot \pi}{4}$ ist also 2360,6. Dieses Ergebnis tragen wir wieder in die Hilfstabelle ein und bezeichnen es durch einen kleinen Pfeil.

Übungsaufgaben

Mit Hilfe der allgemeinen Zahlentabellen sind folgende Werte zu bestimmen.

62) a) $54{,}48^2$, b) $\sqrt{1{,}56}$, c) $10{,}55 \cdot \pi$, d) $\frac{12{,}58^2 \cdot \pi}{4}$

Profilstähle (Profileisen)

Es wird öfters vorkommen, daß wir über Maße und Gewichte von Profilstählen Bescheid wissen müssen. Wir nehmen dann am besten die Technischen Tabellen zur Hand und finden hierin die notwendigen Maße, Gewichte und weiteren Angaben für einfache Berechnungen. Schlagen wir z. B. die Tabelle des I-Stahles nach DIN 1025 (sprich: Doppel-T-Stahl) auf, so finden wir die Bezeichnung des Normprofils wie I 8, I 10[1] usw. und in den Spalten 3 bis 6 die dazugehörigen Abmessungen Höhe *h*, Flanschbreite *b*, Stegstärke *d* und Flanschstärke *t* in mm. Wollen wir das Eigengewicht eines 5,00 m langen I 18 feststellen, so finden Sie die Gewichtsangabe pro lfd. m zu 21,90 kg. Ein 5,00 m langer I 18 wiegt also 5 mal 21,90 = 109,5 kg.

Die letzte Spalte gibt uns den Überpreis für je 100 kg für die kleinen und übergroßen Normalprofile an. Die Mehrkosten für die kleinen Profile (I 8 bis 18) entstehen aus der längeren Arbeitszeit für das Walzen, diejenigen der übergroßen Profile (I 32 bis 60) rühren von der selteneren Bestellung her; sie sind weniger gängig. Wollen wir den Gesamtpreis eines Profilstahles festellen, so ergibt er sich aus dem Grundpreis für 100 kg und dem Überpreis für 100 kg. Lassen wir uns das Profileisen vom Lieferanten

[1] I 10 bedeutet: Doppel-T-Stahl mit 100 mm Höhe.

auf genaue Länge zuschneiden, so setzt er uns dies ebenfalls in Rechnung. Der Handwerker bestellt daher möglichst immer ganze Profileisen (Lagerlängen) und schneidet sie sich für seinen Bedarf selbst zu. Übrigbleibende Stücke legt er auf Lager, um sie später verwenden zu können.

1. **Beispiel**: Wie schwer ist ein 4,75 m langer ⌀ 24?

Rechnungsgang: ⌀ 24 bedeutet Rundstahl mit 24 mm Durchmesser. In der Tabelle über Stabstahl sind die Gewichte je lfd. m angegeben. Wir suchen die Zahl 24. Waagerecht hinter 24 finden wir in der Spalte Rundstahl die Zahl 3,551. Diese Zahl nehmen wir mit der Länge mal.

Lösung: Gewicht von 4,75 m ⌀ 24 $= 4{,}75 \cdot 3{,}551 \approx 16{,}9$ kg
4,75 m ⌀ 24 wiegen **16,9 kg.**

Nebenrechnung:

```
 3,551 · 4,75
 17755
 24857
14204
16,86725
```

2. **Beispiel**: Es sind 36 Sechskantschrauben aus Sechskantstahl 22 anzufertigen. Je Schraube werden 150 mm Sechskantstahl benötigt. Wie hoch sind die Werkstoffkosten? (Es ist der obere Preis der in der Tabelle genannten Lagerverkaufspreise zugrunde zu legen.)

Rechnungsgang: Wir berechnen zunächst die Gesamtlänge des erforderlichen Sechskantstahls in m. Das Gewicht berechnen wir dann in der gleichen Weise, wie wir es beim 1. Beispiel gezeigt haben. Da in der Tabelle der Preis für 100 kg Stabstahl angegeben ist, erhalten wir den Preis für 1 kg Stabstahl, indem wir 19,50 RM. durch 100 teilen. Um die Werkstoffkosten zu errechnen, nehmen wir das Gewicht des erforderlichen Sechskantstahls mit $\frac{19{,}50}{100} = 0{,}195$ mal.

Lösung: Gesamtlänge des erforderlichen Stahls $= 36 \cdot 150 = 5400$ mm $= 5{,}4$ m
Gewicht des erforderlichen Stahls $= 5{,}4 \cdot 3{,}290 \approx 17{,}8$ kg
Werkstoffkosten $= 17{,}8 \cdot 0{,}195 = 3{,}47$ RM.

Die Werkstoffkosten für 36 Sechskantschrauben betragen **3,47 RM.**

Nebenrechnungen:

```
150 · 36      3,29 · 5,4      17,8 · 0,195
900           1316             890
450           1645            1602
5400          17,766           178
                              3,4710
```

3. **Beispiel**: Wie teuer sind 285 m Stahldraht Nr. 60?

Rechnungsgang: In der Tabelle über Stahldraht finden wir das Gewicht für je 1000 m Stahldraht angegeben. 1 m Stahldraht Nr. 60 wiegt demnach $\frac{216{,}0}{1000} = 0{,}216$ kg. Nehmen wir diese Zahl mit 285 mal, so erhalten wir das Gesamtgewicht. Um den Preis zu erhalten, nehmen wir das Gesamtgewicht mit $\frac{35}{100} = 0{,}35$ RM. mal, weil auch in dieser Tabelle der Preis für 100 kg Stahldraht angegeben ist.

Lösung: Gewicht des Stahldrahtes $= 285 \cdot 0{,}216 \approx 61{,}6$ kg
Preis des Stahldrahtes $= 61{,}6 \cdot 0{,}35 = 21{,}56$ RM.

285 m Stahldraht Nr. 60 kosten **21,56 RM.**

Nebenrechnungen:

```
 285 · 0,216        61,6 · 0,35
 1710               3080
  285              1848
 570               21,560
61,560
```

4. **Beispiel:** Wie schwer ist ein 3,5 m langer ▭ 60 · 8?

Rechnungsgang: ▭ 60 · 8 bedeutet Flachstahl mit 60 mm Breite und 8 mm Dicke. Die Tabelle enthält die Gewichte für 1 lfd. m Flachstahl. In der ersten Spalte suchen wir die Breite 60 mm. Wir gehen waagerecht hinüber bis zur Spalte 8 mm Dicke. Wir finden dort die Zahl 3,768. Mit dieser Zahl ist die Länge des Flachstahls malzunehmen, um das Gesamtgewicht zu erhalten.

Lösung: Gewicht von 3,5 m ▭ 60 · 8 $= 3{,}5 \cdot 3{,}768 \approx 13{,}2$ kg
3,5 m ▭ 60 · 8 wiegen **13,2 kg.**

Nebenrechnung:

```
 3,768 · 3,5
 18840
11304
13,1880
```

5. **Beispiel:** Berechnen Sie den Preis ab Handlung für 4 L 50 · 100 · 8 je 3,50 m lang!

Rechnungsgang: 4 L 50 · 100 · 8 bedeutet 4 ungleichschenklige Winkelstähle mit 50 mm und 100 mm Schenkellänge und 8 mm Dicke. Man entnimmt zunächst den Technischen Tabellen das Gewicht der Profilstähle je lfdm. Durch Malnehmen dieser Werte mit der Länge der Profilstähle erhält man deren Gewicht. Der Preis je 100 kg setzt sich aus dem Grundpreis und dem Überpreis zusammen. Beide entnehmen wir den Technischen Tabellen. Den Gesamtpreis für 100 kg teilen wir durch 100 und erhalten so den Preis für 1 kg L-Stahl. Nunmehr müssen wir den Preis für 1 kg mit dem Gesamtgewicht der L-Stähle malnehmen und erhalten so den Gesamtpreis.

Lösung: Gewicht der 4 L 50 · 100 · 8 $= 4 \cdot 3{,}50 \cdot 8{,}99 = 125{,}86\,\text{kg} \approx 125{,}9$ kg
Preis für 100 kg L 50 · 100 · 8 $= 20{,}15 + 1{,}12 = 21{,}27$ RM.
Preis für 1 kg L 50 · 100 · 8 $= \frac{21{,}27}{100} = 0{,}2127$ RM.
Preis für 125,9 kg L 50 · 100 · 8 $= 125{,}9 \cdot 1{,}2127 \approx 26{,}78$ RM.

Der Preis der 4 L-Stähle beträgt **26,78 RM.**

Nebenrechnungen: $4 \cdot 3{,}50 = 14$

```
 8,99 · 14       0,2127 · 125,9
 3596            19143
  899           10635
125,86          4254
               2127
              26,77893
```

Übungsaufgaben

63) Berechnen Sie das Gesamtgewicht von folgenden Stahlträgern:
a) 7 I 12 × 12 von 8,75 m Länge,
b) 4 I 16 × 16 von 6,20 m Länge!

Proportionen

Wir können nie zwei ungleich benannte Größen miteinander vergleichen. Es ist unmöglich, zwischen 5 kg und 10 m ein Größenverhältnis aufzustellen. Unbenannte Größen können wir jedoch miteinander vergleichen. So können wir z. B. feststellen, daß 24 doppelt soviel ist wie 12.

Zwei Größen, die miteinander verglichen werden sollen, werden stets durch das Teilungszeichen : oder den Bruchstrich miteinander verbunden. Beim Lesen dieser Zeichen sagen wir nicht „durch" sondern „zu". 8 m : 6 m oder $\frac{8\text{ m}}{6\text{ m}}$ wird also gelesen 8 m zu 6 m. Das unbenannte Verhältnis $\frac{8}{6}$ lesen wir 8 zu 6. Kürzen wir das Verhältnis $\frac{8}{6}$ durch 2, so erhalten wir $\frac{4}{3}$ (4 : 3). Beide Verhältnisse sind gleichwertig, sie können also einander gleichgesetzt werden, mithin $\frac{8}{6} = \frac{4}{3}$ oder, anders geschrieben, $8 : 6 = 4 : 3$.

Verbinden wir zwei gleichwertige Verhältnisse durch das Gleichheitszeichen, so erhalten wir die Verhältnisgleichung oder Proportion. Diese wird vor allem da angewendet, wo das Verhältnis benannter Zahlen oder unübersichtlicher Brüche dargestellt werden soll, also z. B.

$$16\text{ m} : 4\text{ m} = 4 : 1 \quad \text{oder} \quad 15\text{ kg} : 20\text{ kg} = 3 : 4 \quad \text{oder} \quad 3\tfrac{1}{3} : 6\tfrac{2}{3} = 1 : 2$$

Man sagt, es verhält sich $3\frac{1}{3}$ zu $6\frac{2}{3}$ wie 1 zu 2.

1. Beispiel: In welchem einfachen Zahlenverhältnis stehen die Gewichte zweier Werkzeuge zueinander, von denen das eine 3,4 kg und das andere 5,1 kg wiegt?

Lösung: $\frac{G_1}{G_2} = \frac{3{,}4}{5{,}1} = \frac{34}{51} = \frac{2}{3}$, als Proportion geschrieben $G_1 : G_2 = 2 : 3$.

Die beiden Gewichte verhalten sich wie 2 zu 3.

2. Beispiel: In welchem Zahlenverhältnis stehen zwei Kreisflächen zueinander, von denen die eine einen Durchmesser von 1,00 m und die andere einen Durchmesser von 2,00 m, also einen doppelt so großen Durchmesser hat?

Lösung: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{1{,}00^2 \cdot \frac{\pi}{4}}{2{,}00^2 \cdot \frac{\pi}{4}} = \frac{1{,}00^2}{2{,}00^2} = \frac{1}{4}$, als Proportion geschrieben

$$F_1 : F_2 = 1 : 4$$

Die beiden Kreisflächen verhalten sich also wie die Quadrate ihrer Durchmesser, das ist wie $1{,}00^2$ zu $2{,}00^2$ gleich 1 : 4. Der Flächeninhalt des Kreises mit einem Durchmesser von 2,00 m ist demnach viermal so groß wie der Flächeninhalt eines Kreises mit einem Durchmesser von 1,00 m.

3. Beispiel: Das Abhobeln einer quadratischen Platte von 400 mm Seitenlänge hat 72 Minuten gedauert. Wieviel Zeit wird bei gleichem Vorschub und gleicher Schnittgeschwindigkeit für das Abhobeln einer quadratischen Platte von 200 mm Länge gebraucht?

Lösung: Es verhält sich die Zeit für die Bearbeitung der kleinen Platte (Z_x) zu der Bearbeitungszeit der größeren Platte wie der Flächeninhalt der kleineren Platte zum Flächeninhalt der größeren Platte, also

$$\frac{Z_x}{72} = \frac{200^2}{400^2} = \frac{200 \cdot 200}{400 \cdot 400} = \frac{4}{16} = \frac{1}{4}$$

$$Z_x = \frac{72 \cdot 1}{4} = 18$$

Die Bearbeitung der kleineren Platte dauert demnach 18 Minuten, das ist der vierte Teil der für die Bearbeitung der größeren Platte gebrauchten Zeit.

Ist die Seite einer quadratischen Fläche halb so groß wie die einer anderen quadratischen Fläche, dann ist der Flächeninhalt nicht auch halb so groß, sondern nur ein Viertel davon.

4. Beispiel: In welchem Zahlenverhältnis steht der Querschnitt eines Flacheisens $50 \cdot 8$ zum Querschnitt eines Flacheisens $25 \cdot 4$?

Lösung: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{50 \cdot 8}{25 \cdot 4} = \frac{400}{100} = \frac{4}{1}$

Die beiden Querschnitte verhalten sich wie 4 zu 1.

Sind also die Kanten einer rechteckigen Fläche doppelt so groß wie die einer anderen rechteckigen Fläche, dann ist der Flächeninhalt viermal so groß.

Die einzelnen Glieder einer Proportion haben bestimmte Bezeichnungen. So sind in der Proportion $a : b = c : d$ a und c die Vorderglieder, b und d die Hinterglieder. Ferner sind a und d die äußeren Glieder, b und c die inneren Glieder.

Wir stellen nun irgendeine beliebige Proportion auf, z. B. $9 : 6 = 3 : 2$, in Bruchform dargestellt $\frac{9}{6} = \frac{3}{2}$. Dann nehmen wir beide Seiten der Gleichung mal mit dem Produkt der beiden Nenner, also mit $6 \cdot 2$ und erhalten

$$\frac{9 \cdot 6 \cdot 2}{6} = \frac{3 \cdot 6 \cdot 2}{2}$$

$$9 \cdot 2 = 3 \cdot 6 \quad \text{Probe: } 18 = 18$$

$$\text{oder } 9 \cdot 2 = 6 \cdot 3$$

Vergleichen wir jetzt das Ergebnis $9 \cdot 2 = 6 \cdot 3$ mit der Proportion $9 : 6 = 3 : 2$, so stellen wir fest, daß $9 \cdot 2$ das Produkt der äußeren Glieder und $6 \cdot 3$ das Produkt der inneren Glieder ist.

Aus der Proportion $a : b = c : d$ läßt sich in gleicher Weise die Produktengleichung $a \cdot d = b \cdot c$ ableiten

$$\frac{a \cdot b \cdot d}{b} = \frac{c \cdot b \cdot d}{d} \quad \text{oder } a \cdot d = b \cdot c$$

Hieraus folgt: In jeder Proportion ist das Produkt der äußeren Glieder gleich dem Produkt der inneren Glieder.

5. Beispiel: Das Abdrehen einer 1500 mm langen Welle hat 30 Minuten gedauert. Eine gleich starke Welle soll mit gleicher Schnittgeschwindigkeit und gleichem Vorschub 850 mm lang abgedreht werden. Wieviel Minuten dauert das Abdrehen dieser Welle?

Lösung:

$$x : 30 = 850 : 1500$$
$$x \cdot 1500 = 30 \cdot 850$$
$$x = \frac{30 \cdot 850}{1500} = \frac{85}{5}$$
$$x = 17$$

Das Abdrehen der 850 mm langen Welle dauert **17 Minuten.**

6. Beispiel: Eine Zeichnung soll im Maßstab 1 : 2,5 angefertigt werden. Die größte Länge eines darzustellenden Werkstückes beträgt 750 mm. Wie lang wird das Bild des Werkstückes?

Lösung:

$$x : 750 = 1 : 2{,}5$$
$$x \cdot 2{,}5 = 750 \cdot 1$$
$$x = \frac{750}{2{,}5} = \frac{7500}{25} = 300$$

Das Bild des Werkstückes wird **300 mm lang.**

Sind bei einer Proportion die inneren Glieder gleich, so spricht man von einer stetigen Proportion. $a : b = b : c$. b heißt die mittlere Proportionale oder das geometrische Mittel zwischen a und c. Setzen wir das Produkt der äußeren Glieder gleich dem Produkt der inneren Glieder, so erhalten wir

$$a \cdot c = b^2 \text{ oder umgekehrt } b^2 = a \cdot c$$

Zahlenbeispiel: $16 : x = x : 4$

$$x^2 = 16 \cdot 4$$
$$x^2 = 64$$
$$x = 8$$

8 ist also das geometrische Mittel zwischen 16 und 4.

Übungsaufgaben

64) In einer Zeichnung ist die Kante eines Maschinenteils 350 mm lang gezeichnet. Das Maß der Kante ist mit 1750 mm angegeben. In welchem Verhältnis (Maßstab) ist die Zeichnung angefertigt worden?

65) Eine Transmissionswelle soll durch einen Elektromotor angetrieben werden. Die Drehzahl des Motors ist 1500 U/min. Die Transmissionswelle soll 250 U/min machen. Wie groß ist das Übersetzungsverhältnis zu wählen?

66) Die Platte eines Schweißtisches ist 840 mm lang und 720 mm breit. Im gleichen Verhältnis Länge : Breite soll ein kleinerer Schweißtisch angefertigt werden, dessen Platte 630 mm lang werden soll. Wie breit muß die Platte werden?

67) Ein Rundeisen von 4 m Länge hat einen Durchmesser von 12 mm ($\gamma = 7{,}8$). In welchem Verhältnis steht das Gewicht dieses Eisens zum Gewicht eines zweiten Eisens von gleicher Länge, dessen Durchmesser 24 mm beträgt?

Mathematische Zeichen (Deutsche Normen)

In der Folge werden eine größere Anzahl genormter Zeichen zusammengestellt, die zum Teil schon benutzt worden sind, zum Teil noch später Verwendung finden werden. Aufgenommen sind nur die auch beim Handwerker und Facharbeiter vorkommenden Zeichen.

Zeichen	Sprechweise	Beispiel
%	Hundertstel, vom Hundert (Prozent)	10 % Verschnitt
‰	Tausendstel, von Tausend (Promille)	die Prämie beträgt 3‰
/	in, für, auf, je (pro)	kg/m, kg je m
=	gleich	$5 \cdot 3 = 15$
≈	angenähert, nahezu gleich (rund, etwa)	5,7 ≈ 6 Stück
≙	entspricht	1 cm auf der Karte ≙ 1 km in der Natur (Karte 1:100000)
<	kleiner als	
>	größer als	
∞	unendlich	
√	Wurzel aus	$\sqrt{400} = 20$
∥	parallel	2 Seiten laufen ∥
⊥	rechtwinklig zu	
△	Dreieck	
≅	deckungsgleich	beide △ sind ≅
~	ähnlich, proportional	△ ABC ~ △ CDE
∡	Winkel	$\measuredangle \beta = 60°$
$\overline{AB}$	Strecke AB	zeichne $\overline{AB}$
$\overset{\frown}{AB}$*	Bogen AB	$\overset{\frown}{AB}$ schneidet $\overset{\frown}{CD}$ in Punkt F
π	sprich pi	Flächeninhalt des Kreises $= \frac{d^2 \pi}{4}$
°	Grad	
′	Minute	$\measuredangle \alpha = 50° 20' 30''$
″	Sekunde	
l	Länge	$l = 45{,}35$ m
r	Halbmesser	$2 r \pi$
d	Durchmesser	$d = 450$ mm
h	Höhe	
F	Fläche	$F = g \cdot h$
α, β, γ	Winkel	$\measuredangle \alpha = 30°$
V	Rauminhalt	$V = F \cdot h$
t	Zeit	
P	Kraft	$P = 1000$ kg
M	Moment einer Kraft (Kraft · Hebelarm)	
p	Druck (Kraft durch Fläche)	$p = \frac{P}{F}$
σ	Zug- oder Druckspannung (Normalspannung)	$\sigma = 3{,}5$ kg/cm²
A	Arbeit	$A = P \cdot s$
s	Weg	Arbeit = Kraft · Weg
N	Leistung	$N = \frac{A}{t}$ Leistung $= \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}}$

Einfache Festigkeitsberechnungen

In den Technischen Tabellen sind unter der DIN-Nummer 1613 folgende Angaben zu finden:

Schraubenstahl St 38.13, σ_B 38—45 kg/mm²:

Der Vergleich der Zahlen ergibt, daß die Zahl 38 gemeinsam vorkommt. Die erste zweistellige Zahl der Markenbezeichnung St 38.13 bezieht sich auf die unter σ_B (sigma) angegebenen Werte. Die Ermittlung dieser Werte machen wir uns an zwei Versuchen klar.

Nehmen wir ein Gummiseil und spannen dieses, so ist zu erkennen, daß mit dem Seil eine Veränderung vorgeht. Das Seil wird länger und schnürt sich an einer Stelle ein, der Querschnitt wird kleiner (Abb. 89). Wir bemerken weiter, daß das Gummiseil der Zugkraft einen Widerstand entgegensetzt. Dieser Widerstand bildet die Zugfestigkeit des Werkstoffes. Das Gummiseil nimmt seinen ursprünglichen Zustand wieder an, wenn die Zugkraft aufhört. Diese Eigenschaft nennt man Elastizität. Ist die Zugkraft zu groß gewesen, so bleibt eine Verlängerung und Querschnittsveränderung des Werkstoffes zurück. Man sagt in diesem Fall, die Elastizitätsgrenze ist überschritten. Wird die Zugkraft noch größer, so wird das Gummiseil reißen. Die Zugfestigkeit des Werkstoffes wurde überschritten. Durch die Zugkraft sind in dem Werkstoff Spannungen entstanden, die zum Bruch führten. Die Spannung, die im Augenblick des Bruches vorliegt, nennt man Bruchspannung.

Abb. 89

Wir nehmen jetzt einen Gummistöpsel und drücken diesen zusammen. Es ist wieder eine Widerstandskraft zu bemerken, die der Druckkraft entgegenwirkt. Wir beobachten eine Verkürzung und Querschnittsveränderung des Stöpsels (Abb. 90). Der Stöpsel nimmt seine erste Form wieder an, wenn die Druckkraft aufhört. Bleibt eine Veränderung zurück, so wurde die Elastizitätsgrenze überschritten (Abb. 90).

Treten am Umfang des Werkstoffes Risse auf, so ist die Bruchspannung erreicht, die Druckfestigkeit des Werkstoffes ist überschritten.

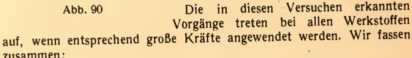


Abb. 90

Die in diesen Versuchen erkannten Vorgänge treten bei allen Werkstoffen auf, wenn entsprechend große Kräfte angewendet werden. Wir fassen zusammen:

1) Jeder Werkstoff setzt einer Zugkraft einen Widerstand entgegen, den wir Zugfestigkeit nennen.



Die Zugfestigkeit wird mit dem Buchstaben σ und dem Index z bezeichnet (σ_z).

2) Jeder Werkstoff setzt einer Druckkraft einen Widerstand entgegen, den wir Druckfestigkeit nennen. Die Druckfestigkeit wird mit dem Buchstaben σ und dem Index d bezeichnet (σ_d).
3) Die Spannung, bei der ein Bruch des Werkstoffes eintritt, heißt Bruchspannung, sie wird durch den Index B gekennzeichnet.

Die Bruchspannung für Zug ist also σ_{zB}
" " " Druck " " σ_{dB}

4) Die Grenze, bis zu der ein Werkstoff ohne zurückbleibende Veränderung belastet werden kann, heißt Elastizitätsgrenze. Der Werkstoff nimmt also seine ursprüngliche Form wieder an.
5) Zur Vereinfachung der Rechnung werden alle Werte von σ in kg auf einen Querschnitt von 1 mm² oder 1 cm² bezogen, geschrieben: kg/mm² oder kg/cm².

Wir erwarten von Werkstücken und Maschinenteilen, daß sie dauerhaft sind und die zu erwartenden Beanspruchungen aushalten. Sie müssen also so bemessen sein, daß die Elastizitätsgrenze niemals überschritten und die Bruchspannung niemals erreicht wird.

Bei technischen Berechnungen wird deshalb nur ein Bruchteil des Höchstwertes der Bruchspannung angesetzt. Der für die Rechnung anzusetzende Wert ist der zulässige Wert, er wird durch das Wörtchen zulässig (zul.) gekennzeichnet, z. B. $\sigma_{z\,zul.}$ Nach den Technischen Tabellen beträgt $\sigma_{z\,zul.}$ für St 37 nach Spalte I 900—1500 kg/cm²; das ergibt auf mm² umgerechnet 9—15 kg/mm². Für diesen Stahl ist als Bruchspannung angegeben: St 37.11, σ_{zB} 37—45 kg/mm². Aus dem Vergleich der Werte ergibt sich, daß für die Rechnung der zulässige Wert nur $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ der Bruchspannung beträgt. Aus den Technischen Tabellen ist ferner zu ersehen, daß die zulässigen Beanspruchungen noch nach der Art der Belastung unterschieden werden. Werte unter I gelten für ruhende Belastung, unter II für Belastungsänderung in einer Richtung, unter III für wechselnde Belastung in zwei entgegengesetzten Richtungen.

Beispiele: Die Träger einer Speicherdecke tragen eine ruhende Belastung (Fall I). Der Brückenpfeiler ist einer wechselnden Belastung in einer Richtung ausgesetzt (Fall II). Die Kurbelwelle einer Maschine ist einer wechselnden Belastung in entgegengesetzten Richtungen ausgesetzt (Fall III).

1. Beispiel: Berechnen Sie die zulässige Gesamtzugbelastung der Bremsstange d (Abb. 91), deren Querschnitt 0,79 cm² ist, Material St 50!

Rechnungsgang: Die Bremsstange wird in wiederkehrender Belastung in einer Richtung beansprucht. Wir entnehmen den Technischen Tabellen für St 50 die zulässige Zugbelastung für Fall II mit $\sigma_{z\,zul.} = 720—1080$ kg/cm². Aus Sicherheitsgründen wählen wir den unteren Wert. Nunmehr nehmen wir die zulässige

Zugbelastung mit dem Querschnitt mal und erhalten die zulässige Gesamtzugbelastung.

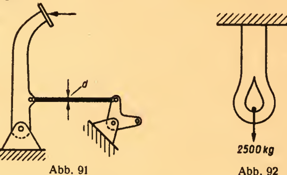


Abb. 91 Abb. 92

Lösung:
Gesamtzugbelastung = Querschnitt · zul. Zugbelastung = 0,79 · 720 = **568,8 kg.**

Nebenrechnung:

```
0,79 · 720
1580
 553
568,80
```

2. Beispiel: Berechnen Sie den erforderlichen Querschnitt des Lasthakens (St 37.12), der dauernd mit 2540 kg Zug belastet wird (Abb. 92)!

Rechnungsgang: Den Technischen Tabellen entnehmen wir den Wert der zulässigen Zugbelastung für Fall I $\sigma_{z\,zul.}$ mit 900 kg/cm². Da 900 kg Zug von 1 cm² aufgenommen werden, muß der Querschnitt so groß werden, wie 900 kg in der Gesamtbelastung 2540 kg enthalten sind.

Lösung: Erforderlicher Querschnitt = Gesamtzugbelastung : zul. Beanspruchung = 2540 : 900 = **2,82 cm².**

Nebenrechnung:

```
2540 : 900 = 2,822
 7400
  2000
  2000
```

3. Beispiel: Der rechteckige Sockel eines Pfeilers aus Stahlguß (Abb. 93) mit einem Querschnitt von 12 × 8 cm wird gleichmäßig belastet. Wie hoch darf die zulässige Druckbeanspruchung werden?

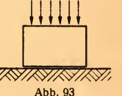


Abb. 93

Rechnungsgang: Die zulässige Druckbelastung ist nach Tabelle für Fall I $\sigma_{d\,zul.}$ = 900—1500 kg/cm². Um die höchstzulässige Druckbeanspruchung zu ermitteln, rechnen wir mit 1500 kg/cm². Nunmehr nehmen wir die zulässige Belastung mit dem Querschnitt mal und erhalten die zulässige Gesamtdruckbelastung.

Lösung: Die zulässige Gesamtdruckbelastung beträgt $12 \cdot 8 \cdot 1500 =$ **144000 kg.**

Nebenrechnung:

$$\begin{array}{r} 1500 \cdot 96 \\ \hline 9000 \\ 13500 \\ \hline 144000 \end{array}$$

4. **Beispiel:** Ein Aluminiumspanndraht wird mit 350 kg Zug belastet. Wie groß muß der Durchmesser des Drahtes sein?

Rechnungsgang: Den Technischen Tabellen entnehmen wir die zulässige Zugbeanspruchung für Aluminium mit $\sigma_{z\,zul.} = 200$ kg/cm². Da 1 cm² 200 kg Zug aufnehmen kann, muß der Querschnitt so groß werden, wie 200 kg in 350 kg enthalten sind. Den Durchmesser finden wir, indem wir in der Zahlentabelle unter $\frac{d^2\pi}{4}$ den errechneten Querschnitt aufsuchen und aus der ersten Spalte den zugehörigen Durchmesser entnehmen.

Lösung: Erforderlicher Querschnitt = Gesamtbelastung: zul. Belastung $= 350 : 200 = 1{,}75$ cm². 1,75 ist unter $\frac{d^2\pi}{4}$ nicht enthalten, wir nehmen den zunächst höheren Wert 1,7671 (Technische Tabellen). Hierzu gehört der Durchmesser $d = 1{,}5$ cm $= 15$ mm.

Der Draht muß **15 mm** stark sein.

Übungsaufgaben

68) Ein Rundstahl St 38.13 hat 0,8 cm ⌀. Wie hoch darf er auf Zug belastet werden?
69) Ein Messingdraht hat 2,5 mm ⌀. Wie hoch kann die Zugbelastung sein?
70) Der Stahlgußsockel eines Pfeilers hat den Querschnitt von 25 cm² und wird mit wechselndem Druck belastet. Wie groß darf der Höchstdruck werden?
71) Die Spindel einer Spindelpresse hat einen Kerndurchmesser von 74 mm; Werkstoff St 50. Mit welchem Druck kann die Spindel belastet werden?

Positive und negative Zahlen

In allen bisher gestellten Aufgaben waren die Zahlenwerte größer als 0, z. B. rechneten wir $3\text{ m} + 6\text{ m} = 9\text{ m}$ oder $15b + 20b = 35b$. Wir haben immer den kleineren Wert vom größeren abgezogen, z. B. $5\text{ m} - 3\text{ m} = 2\text{m}$ oder $16x - 10x = 6x$.

Mit Hilfe eines Thermometers wollen wir unsere Kenntnisse von den Zahlen erweitern. An einem Thermometer finden wir Teilstriche und Zahlen oberhalb und unterhalb des Nullwertes. Wir unterscheiden diese beiden Bereiche gewöhnlich als Wärme- und Kältegrade. Wir sagen, es sind 12° Wärme oder heute haben wir 2° Kälte. Sicher haben Sie auch schon die Unterscheidung in Plus- und Minusgrade gehört. Statt 10° Wärme sagt man plus 10° und schreibt $+10°$. Für 3° Kälte sagt man minus 3° und schreibt $-3°$. Wir unterscheiden dabei die Temperaturangaben durch ein Vorzeichen.

Zahlen mit Vorzeichen heißen allgemein algebraische Zahlen. Algebraische Zahlen umfassen Plus- und Minuszahlen oder wie man dafür sagt: positive und negative Zahlen. Durch die Einführung der Vorzeichen wird unser Zahlenraum verdoppelt.

Mit Hilfe des Thermometerbeispiels wollen wir uns klar machen, wie man mit algebraischen Zahlen rechnet.

Wir bestimmen den Temperaturunterschied zwischen $+20°$ und $-6°$. Wenn wir auf der Skala des Thermometers die Gradstriche auszählen, so erhalten wir einen Unterschied von 26°. Wenn wir den Unterschied durch Abziehen finden, so lautet die Aufgabe:

$$+20° - (-6°) = 26°$$

In dieser Gleichung verwenden wir das Zeichen „—" einmal als Rechenzeichen und einmal als Vorzeichen. Wir haben die negative Zahl „-6" abgezogen, indem wir sie in Wirklichkeit dazugezählt haben. Wir können auch sagen, die beiden Minuszeichen, die aufeinander folgen, wirken wie ein Pluszeichen.

Jetzt müssen wir noch klären, wie beim Zusammenzählen und Abziehen sich das Zusammentreffen von Plus- und Minuszeichen auswirkt. Wir sollen von $+10$ den Wert $+3$ abziehen, es verbleibt der Wert $+7$. Diese Aufgabe schreiben wir:

$(+10) - (+3) = +7$. Das können wir vereinfachen zu: $10 - 3 = 7$

Als Vorgang des praktischen Lebens begegnet Ihnen diese Aufgabe täglich. Sie besitzen 10 RM. und geben 3 RM. aus, da verbleiben Ihnen 7 RM. Die Abwandlung dieser Aufgabe lautet: Zu dem Wert $+10$ ist der Wert -3 dazuzuzählen. Klären Sie sich diesen Fall am Beispiel von Besitz und Schulden. Wenn Sie einen 10-Mark-Schein besitzen, aber einem Kameraden noch 3 RM. schulden, so besitzen Sie in Wirklichkeit nur 7 RM. Deshalb schreiben wir die neue Aufgabe:

$$(+10) + (-3) = +7$$

+15
+14
+13
+12
+11
+10
+9
+8
+7
+6
+5
+4
+3
+2
+1
0
−1
−2
−3
−4
−5
−6
−7
−8
−9
−10
−11
−12
−13
−14
−15

Abb. 94

Obwohl dem zweiten Beispiel im Leben ein anderer Sachverhalt zugrunde liegt, stimmt das Ergebnis mit dem des ersten Beispieles überein. Als leichte Merkhilfe sagen wir: Treffen beim Zusammenzählen und Abziehen Plus- und Minuszeichen zusammen, so lösen wir die Aufgabe durch Abziehen. Noch weiter vereinfacht sagen wir: Für zwei gleiche Zeichen setzen wir +, für zwei ungleiche Zeichen ein —.

Das + als Rechenzeichen bedeutet zusammenzählen, das entspricht für die Gesamtzahlenreihe der algebraischen Zahlen immer einem

Aufwärtsschreiten innerhalb der Zahlenreihe. Wir klären diese Tatsache mit Hilfe der Abb. 94. Die Aufgabe: $3 + 5$ verlangt, von der Zahl $+3$ aus um 5 Einheiten aufwärts zu zählen, wir finden den Wert $+8$. In dieser Betrachtung können wir auch die neue Aufgabe lösen: $-3 + 5$. Wir beginnen bei dem Wert -3 und zählen 5 Einheiten in der Zahlenreihe aufwärts. So kommen wir zu dem Wert $+2$. Lösen Sie die folgenden Aufgaben durch Auszählen der Zahlenreihe!

$$3 + 4 = 7$$
$$-5 + 4 = -1$$
$$-2 + 4 = +2$$

Das Abziehen entspricht somit einem Abwärtsschreiten innerhalb der Zahlenreihe.

$$6 - 2 = 4$$
$$2 - 6 = -4$$
$$-2 - 3 = -5$$

Für das Zusammenzählen und Abziehen algebraischer Zahlen merken wir uns:

1) Das Zusammenzählen entspricht einem Aufwärtsschreiten in der Zahlenreihe:
2) Das Abziehen entspricht einem Abwärtsschreiten in der Zahlenreihe.
3) Das Abziehen einer negativen Zahl entspricht einem Zusammenzählen.
4) Stimmen Vorzeichen und Rechenzeichen überein, so zählen wir zusammen, stimmen Vorzeichen und Rechenzeichen nicht überein, so ziehen wir ab. Dafür schreiben wir folgende Merkhilfe:

$+(+)$	entspricht	$+$	(zusammenzählen)
$+(-)$	„	$-$	(abziehen)
$-(+)$	„	$-$	(abziehen)
$-(-)$	„	$+$	(zusammenzählen)

Zur Vereinfachung der Schreibweise gilt allgemein: Zahlen ohne Vorzeichen sind immer positiv (+). Das Vorzeichen (+) kann weggelassen werden.

Für das Malnehmen und Teilen gilt in Anlehnung an das Zusammenzählen und Wegnehmen die Regel: Gleiche Vorzeichen ergeben ein positives Ergebnis, ungleiche Vorzeichen ergeben ein negatives Ergebnis.

Rechenbeispiele:
$(+4) \cdot (+2) = +8 \quad (+10) : (+5) = +2$
$(+4) \cdot (-2) = -8 \quad (+10) : (-5) = -2$
$(-4) \cdot (-2) = +8 \quad (-10) : (-5) = +2$
$(-4) \cdot (+2) = -8 \quad (-10) : (+5) = -2$

Übungsaufgaben

72) Eine Eisenbahnschiene von 12 m Länge dehnt sich bei 100° Erwärmung um 1,2 mm/m aus. Wie groß ist die Längenausdehnung, wenn die Temperatur von $-35°$ auf $+45°$ steigt?

73) Zahlenbeispiele:

$25 - 38 = ?$	$17 + (-12) = ?$	$45 - (-19) = ?$
$95 + 3 \cdot (-14) = ?$	$84 - 7 \cdot (+8) = ?$	$126 - 9 \cdot (-16) = ?$

Zur Wiederholung

Wir lernten mit m und kg wie mit RM. rechnen. Gleichartige Werte lassen sich zusammenzählen (addieren) oder abziehen (subtrahieren) und durch Malnehmen (Multiplizieren) oder Teilen (Dividieren) vermehren oder vermindern. Gleichartige Werte, die sich in einer Linie steigend nach der Zahlenreihe 1, 2, 3, 4 usw. ordnen lassen, nennen wir lineare Werte, z. B. 1 cm, 2 cm, 3 cm usw. oder 1 kg, 2 kg, 3 kg usw. Bei der Flächenberechnung wurden zwei Werte (Längen), Grundlinie (g) und Höhe (h), miteinander malgenommen. Das Ergebnis war ein quadratischer Wert, wir schreiben: mm², cm² usw. (sprich: mm hoch 2, cm hoch 2); die hochgesetzte Ziffer 2 gibt an, daß 2 Längen miteinander malgenommen wurden. Das Ergebnis bedeutet immer eine Fläche. Bei der Körperberechnung wurden drei Werte (Längen), Grundfläche ($g \cdot h$) und Körperhöhe (H) miteinander malgenommen. Das Ergebnis war ein kubischer[1]) Wert, wir schreiben: mm³, cm³ usw. (sprich: mm hoch 3, cm hoch 3), die hochgesetzte Ziffer 3 gibt an, daß 3 Längen miteinander malgenommen wurden. Das Ergebnis bedeutet immer einen Körper.

Merke:

1) Die einfache Maßbezeichnung mm, cm, m usw. bedeutet immer: Länge (die Ziffer hoch 1 schreiben wir nicht).
2) Die Maßbezeichnung mit der Ziffer hoch 2 (mm², cm², m²) bedeutet immer: Fläche.
3) Die Maßbezeichnung mit der Ziffer hoch 3 (mm³, cm³, m³) bedeutet immer: Körper.

Wir sprechen von der 1., 2. und 3. Dimension. Wir können niemals Werte verschiedener Dimensionen miteinander verrechnen.

1. Beispiel: Berechnen Sie den mittleren Werkstoffpreis von 25 Blechen nach Abb. 95; Werkstoff 4 mm Flußstahl!

Rechnungsgang: Wir berechnen die Fläche des großen Rechtecks, ziehen von dieser die kleine quadratische Fläche ab und erhalten die Werkstofffläche. In den Technischen Tabellen finden wir das Gewicht für 1 m² Blech aus Flußstahl von 4 mm Dicke mit $G = 31{,}40$ kg. Der Preis für Mittelbleche (3 bis 5 mm) ist am Kopf der gleichen Tabelle mit 19,30 bis 22 RM. angegeben, wir wählen als mittleren Preis 20,60 RM. je 100 kg. Der Preis für 1 kg ist $\frac{1}{100}$ von 20,60 RM Wir nehmen nunmehr die Werkstofffläche mit dem Gewicht für 1 m² mal und erhalten das Gewicht eines Bleches. Dieses Gewicht nehmen wir mit dem Preis für 1 kg mal und

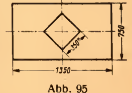


Abb. 95

[1]) Kubus ist das lateinische Wort für Würfel.

erhalten den mittleren Werkstoffpreis eines Bleches. Der Werkstoffpreis für 25 Bleche ist dann 25-mal soviel.

Lösung: Fläche des Rechtecks $= 135 \cdot 75 = 10125\ \text{cm}^2 = 1{,}0125\ \text{m}^2$
Fläche des Quadrats $= 35 \cdot 35 = 1225\ \text{cm}^2 = 0{,}1225\ \text{m}^2$
Werkstofffläche $= 0{,}8900\ \text{m}^2$

Gewicht des Bleches $= 0{,}89 \cdot 31{,}40 = 27{,}946$ kg
Preis für 1 kg $= 20{,}60 : 100 = 0{,}206$ RM.
Preis für 1 Blech $= 27{,}946 \cdot 0{,}206 = 5{,}76$ RM.
Preis für 25 Bleche $= 5{,}76 \cdot 25 = 144$ RM.

Der Werkstoffpreis beträgt **144,— RM.**

Nebenrechnungen:

135 · 75	35 · 35	
675	175	
945	105	
10125	1225 (vgl. Technische Tabellen S. 5)	
31,4 · 0,89	27,946 · 0,206	5,76 · 25
2826	167676	2880
2512	558920	1152
27,946	5,756876 ≈ 5,76	144,00

2. Beispiel: Berechnen Sie das Gewicht des Wellenstückes nach Abb. 96; Werkstoff Maschinenbaustahl, $\gamma = 7{,}86\ \text{g/cm}^3$!

Abb. 96

Rechnungsgang: Wir berechnen den Rauminhalt des Wellenstückes als Summe aus den Zylindern mit $d_1 = 240$ und $d_2 = 160$. Die Größe der Kreisfläche $\frac{d^2\pi}{4}$ nehmen wir aus den Technischen Tabellen, für d_1 zu $452{,}4\ \text{cm}^2$ und für d_2 zu $201{,}1\ \text{cm}^2$. Die Höhe H_1 des ersten Zylinders ist 150 mm, die des zweiten $H_2 = 280 - 150 = 130$ mm. Den Rauminhalt nehmen wir mit der Wichte $\gamma = 7{,}86$ mal und erhalten das Gewicht des Wellenstückes. Beachte: Maße der Zeichnung in mm, Rechnung mit cm, da Wichte in g/cm³ angegeben!

Lösung: 1. Zylinder $= 452{,}4 \cdot 15 = 6786{,}00\ \text{cm}^3$
2. Zylinder $= 201{,}1 \cdot 13 = 2614{,}30\ \text{cm}^3$
Summe $= 9400{,}30\ \text{cm}^3$.
Gewicht des Wellenstückes $= 9400{,}3 \cdot 7{,}86 = 73886$ g
Das Gesamtgewicht beträgt **73,9 kg.**

Nebenrechnungen:

452,4 · 15	201,1 · 13	9400,3 · 7,86
22620	6033	564018
4524	2011	752024
6786,0	2614,3	658021
		73886,358 ≈ 73886 g ≈ 73,9 kg

3. Beispiel: Die in Abb. 97 abgebildete Panzerplatte wird in der erkenntlichen Weise zusammengeschweißt. Wieviel m² Werkstoff werden benötigt, wenn der Verschnitt mit 2% der Werkstofffläche angesetzt wird?

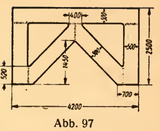


Abb. 97

Rechnungsgang: Wir berechnen die Gesamtfläche des Rechtecks, ziehen die Summe der Dreiecke $\left(\text{Summe } \frac{g \cdot h}{2}\right)$ ab und erhalten die Werkstofffläche. Die Grundlinien und Höhen der Dreiecke errechnen wir aus den bekannten Maßen der Zeichnung. Die Grundlinien der gleichgroßen inneren Dreiecke sind $g_1 = \frac{4200}{2} - (500 + 200) = 2100 - 700 = 1400$ mm, die Höhe dieser Dreiecke ist $h_1 = 2500 - (520 + 500) = 2500 - 1020 = 1480$ mm. Äußeres Dreieck: Grundlinie $g_2 = 4200 - 2 \cdot 700 = 4200 - 1400 = 2800$ mm, Höhe $h_2 = 1450$ mm. Zu der Werkstofffläche werden 2% der Fläche zugezählt.

Lösung: Fläche des Rechtecks $= 420 \cdot 250 \qquad = 105000 \text{ cm}^2$

Hiervon ab: 2 innere Dreiecke $2 \cdot \frac{140 \cdot 148}{2} = 20720 \text{ cm}^2$

1 äußeres Dreieck $\frac{\overset{140}{280} \cdot 145}{2} = 20300 \text{ cm}^2 \quad - \quad 41020 \text{ cm}^2$

Werkstofffläche $\qquad = 63980 \text{ cm}^2$

Hierzu Verschnitt: 2% der Werkstofffläche $= \frac{2 \cdot 63980}{100} \quad = 1279{,}6 \text{ cm}^2$

Erforderlicher Werkstoff $\qquad = 65259{,}6 \text{ cm}^2$

Es werden **6,526 m²** Werkstoff benötigt.

Wir kennen den Unterschied zwischen Zahlen und Buchstaben in der Rechnung. Zahlen, die eine bestimmte Menge von Einheiten (z. B. Meter, Kilogramm, RM. usw.) bezeichnen, heißen bestimmte oder besondere Zahlen, sie werden durch Ziffern (1, 2, 3, 4 usw. und 0) ausgedrückt. Beispiele: 15 m, 107 kg, 2040 RM. Zahlen, die eine unbestimmte Menge bezeichnen, heißen unbestimmte oder allgemeine Zahlen, sie werden durch Buchstaben (*a*, *b*, *c*, *d* usw.) ausgedrückt. Beispiele: *a* m, *b* kg, *c* RM. Mit den allgemeinen Zahlen kann genau so wie mit den besonderen Zahlen in allen 4 Rechenarten gerechnet werden. Die 4 Rechenarten sind:

1) Zusammenzählen: + (Addieren)
2) Abziehen: — (Subtrahieren)
3) Malnehmen: · (Multiplizieren)
4) Teilen: : (Dividieren).

1. Beispiel: $4 + 2 = 6 \quad a + b = c \quad 6 \cdot 5 = 30 \quad c \cdot f = g$
$8 - 3 = 5 \quad d - e = f \quad 30 : 5 = 6 \quad g : f = c$

2. Beispiel: Es sei $a = 4$; $b = 7$; $c = 20$. Welchen Wert hat der Ausdruck $a + 2b + 4a + 2c - 2a + 3b - c$?

Wir fassen erst die gleichartigen Glieder in einer Klammer () zusammen und erhalten: $(a + 4a - 2a) + (2b + 3b) + (2c - c) = 3a + 5b + c$, nunmehr setzen wir die bestimmten Zahlen ein:

$$3a + 5b + c = (3 \cdot 4) + (5 \cdot 7) + 20 = 12 + 35 + 20 = \underline{\underline{67}}$$

Würden wir die bestimmten Zahlen bereits in dem allgemeinen ersten Ausdruck einsetzen, so würde die Rechenarbeit viel größer sein:

$$4 + (2 \cdot 7) + (4 \cdot 4) + (2 \cdot 20) - (2 \cdot 4) + (3 \cdot 7) - 20 = 4 + 14 + 16 + 40 - 8 + 21 - 20 = 67$$

Merke: Bei der Rechnung mit allgemeinen Zahlen (Buchstaben) wird die Rechnung bis zur letzten Vereinfachung durchgeführt, bevor für jeden Buchstaben der ihm zugehörige bestimmte Zahlenwert eingesetzt wird. Die Ausdrücke $4 + 3 = 7$; $a + b = c$; $8 + x = 12$ usw. nennen wir Gleichungen, d. h. der Wert links vom Gleichheitszeichen (=) ist gleichbedeutend mit dem Wert rechts vom =-Zeichen. Eine Gleichung ist nur dann richtig, wenn diese Bedingung erfüllt ist.

Z. B. 1) $12 + 13 + 47 + 84 = 130 + 26$; $156 = 156$

2) $2a + 53 + 4a = 92 - b + 80$; $6a + 53 = 172 - b$

mit $b = 23$ erhalten wir: $6a + 53 = 172 - 23 = 149$

$$\begin{array}{lcr} & -53 & -53 \\ \hline 6a & = & 96 \\ a & = & 16 \end{array}$$

Wir erkennen, daß zu einem bestimmten Wert b (= 23) nur ein bestimmter Wert a (= 16) möglich ist. Sie lernten, daß in einer Gleichung beide Seiten gleichzeitig und gleichmäßig verändert werden können. Dabei ändern sich zwar die Werte, aber die Richtigkeit der Gleichung bleibt erhalten.

Beispiele: $4 = 4$; $(4 + 2) = (4 + 2)$; $(4 - 3) = (4 - 3)$; $4 \cdot 3 = 4 \cdot 3$
$4 : 2 = 4 : 2$

Die Gültigkeit der Regeln bleibt auch erhalten, wenn die Gleichung aus längeren Ausdrücken besteht.

Beispiele: $27 + 10 - 3 = 34$

Zusammenzählen: $+ 7 = + 7$
$27 + 10 - 3 + 7 = 34 + 7 = 41$

Abziehen: $- 20 = - 20$
$27 + 10 - 3 + 7 - 20 = 41 - 20 = 21$

Malnehmen: $\cdot 3 = \cdot 3$
$(41 - 20) \cdot 3 = 21 \cdot 3 = 63$

Teilen: $: 7 = : 7$
$\frac{21 \cdot 3}{7} = 63 : 7 = 9$

In entsprechender Weise wird die Rechnung mit unbestimmten Werten (Buchstaben) ausgeführt:

Beispiele:

$$a + b = c$$

Zusammenzählen:

$$\underline{\quad + d = + d}$$

$$a + b + d = c + d$$

Abziehen:

$$\underline{\quad - e = - e}$$

$$a + b + d - e = c + d - e$$

Malnehmen:

$$\underline{\quad \cdot x = \cdot x}$$

$$(a + b + d - e) \cdot x = (c + d - e) \cdot x$$

Teilen:

$$\underline{\quad : y = : y}$$

$$\frac{(a + b + d - e) \cdot x}{y} = \frac{(c + d - e) \cdot x}{y}$$

Wir haben jetzt die Möglichkeit, aus einer Gleichung einen unbekannten Wert zu errechnen, indem wir die Seiten der Gleichung so lange gleichmäßig verändern, bis die Unbekannte nur noch allein steht.

Beispiel: $28 + 5x - 8 = 24 + x$

Zusammenzählen und Abziehen: $\underline{\quad -28 + 8 = -28 + 8}$

$$28 + 5x - 8 - 28 + 8 = 24 + x - 28 + 8$$

$$5x = 4 + x$$

Abziehen:

$$\underline{\quad - x = - x}$$

$$5x - x = 4 + x - x$$

$$4x = 4$$

Teilen:

$$\underline{\quad : 4 = : 4}$$

$$4x : 4 = 4 : 4$$

$$x = 1$$

Wir prüfen die Richtigkeit, indem wir den errechneten Wert für x in die erste Form der Gleichung einsetzen.

$28 + 5x - 8 = 24 + x$ für $x = 1$ $\quad 28 + 5 \cdot 1 - 8 = 24 + 1$

$$\underline{\underline{25 = 25}}$$

Wir errechnen den unbestimmten Wert x einer anderen Gleichung.

Beispiel: $36 + 8x = 25 - 3x$

Abziehen:

$$\underline{\quad - 36 = - 36}$$

$$36 + 8x - 36 = 25 - 3x - 36 = - 3x - 11$$

Zusammenzählen:

$$\underline{\quad + 3x = \qquad = + 3x}$$

$$8x + 3x = 11x \qquad = - 3x - 11 + 3x$$

Teilen durch 11 ergibt $\underline{\underline{x = -1.}}$

Wir erhalten einen negativen Wert für x und prüfen die Richtigkeit:

$36 + 8x = 25 - 3x$; $\quad 36 + 8(-1) = 25 - 3(-1)$; $\quad 36 - 8 = 25 + 3$

$$\underline{\underline{28 = 28}}$$

Wir erinnern uns dabei an die Regeln des Rechnens mit negativen Vorzeichen: Die Folge von ungleichen Vorzeichen (+ — oder — +) ergibt immer ein negatives (—) Vorzeichen. Die Folge von gleichen Vorzeichen (— — oder + +) ergibt immer ein positives (+) Vorzeichen.

Beispiele:

$(+ 17) + (- 15) = 17 - 15 = 2$ ebenso $(+ 17) - (+ 15) = 17 - 15 = 2$

$3 (+ 8) \pm 4 (- 6) = 24 - 24 = 0$ ebenso $3 (+ 8) - 4 (+ 6) = 24 - 24 = 0$

$(+ 20) \mp (+ 15) = 20 + 15 = 35$ ebenso $(+ 20) - (- 15) = 20 + 15 = 35$

Aus der Naturlehre

Gewicht und Wichte

Wir rechnen mit cm und m, mit cm^2 und m^2, mit cm^3 und m^3, mit g und kg, also mit Maßeinheiten für Länge, Fläche, Raum und Gewicht. Diese Maßeinheiten sind nicht von der Natur gegeben, sondern vom Menschen festgelegt. Allerdings ist man bemüht, als Maßeinheit eine in der Natur vorkommende Größe zu verwenden, damit man die Maßeinheit immer wieder an ihr prüfen kann.

Als Gewichtseinheit hat man das Gewicht von 1 *l* Wasser = 1 kg gewählt. Demnach wiegt 1 cm^3 Wasser 1 g, 1 dm^3 Wasser 1 kg, 1 m^3 Wasser 1 t (sprich Tonne).

Was ist das Gewicht? Läßt man einen Gegenstand, den man in der Hand hat, los, dann fällt er senkrecht zur Erde; tropft ein Wasserhahn, dann fallen die Tropfen senkrecht zur Erde; läßt man ein Lot frei schweben, dann stellt es sich senkrecht ein. Die Körper werden von der Schwerkraft der Erde in Richtung auf den Erdmittelpunkt angezogen.

Soll eine Maschine auf ein Fundament gestellt werden, so wird sie zunächst mit Hilfe eines Flaschenzuges oder eines Kranes über dem Fundament aufgehängt. Die Schwerkraft zieht sie senkrecht herunter. Dem wirken die Seile oder Ketten, an denen die Maschine hängt, entgegen. Die Schwere der Maschine wirkt als Zugkraft an den Seilen. Steht die Maschine dann auf ihrem Fundament, so übt sie auf das Fundament einen Druck aus. Die durch die Maschine infolge ihrer Schwere ausgeübte Kraft nennen wir ihr Gewicht. Kraft und Gewicht werden in t, kg, g gemessen und ausgedrückt.

1 kg	= 1000 g
1 t	= 1000 kg

Die Zugkraft ruft in dem Seil, das die Maschine trägt, eine Spannung hervor, die sich über den Seilquerschnitt gleichmäßig verteilt. Nehmen wir an, die Maschine wiegt 1000 kg und hängt an einem Stahlseil von 20 mm Durchmesser. Dann verteilen sich die 1000 kg gleichmäßig auf die 3,14 cm^2 Querschnitt des Seiles. Es entfallen dann auf jeden cm^2 der Fläche $\frac{1000}{3{,}14} \approx 320$ kg. Wir sagen, die Zugspannung in dem Seil beträgt 320 kg/cm^2, gesprochen 320 kg je cm^2. Statt je wird häufig noch das Fremdwort pro gebraucht.

Ebenso ruft die Druckkraft von 1000 kg im Fundament eine Spannung hervor. Nehmen wir an, daß die Maschine mit einer Platte von den Abmessungen 50 cm und 40 cm auf dem Fundament aufliegt, dann ist die Druckspannung $\frac{1000}{2000} = \frac{1}{2}$ kg/cm^2 = 0,5 kg/cm^2.

Das Gewicht eines Körpers hängt ab von seiner Größe und von dem Stoff, aus dem er besteht. Wir nehmen zwei gleich große Eimer und füllen

den einen mit Wasser, den anderen mit Sand. Heben wir beide Eimer mit je einer Hand gleichzeitig an, dann empfinden wir, daß der Eimer mit Sand wesentlich schwerer ist als der Eimer mit Wasser. Durch Wiegen ist festzustellen, um wieviel der Sand schwerer ist als das Wasser, wir finden, daß er etwa das doppelte Gewicht hat. Wiegen wir nun die Hälfte des Sandes und die Hälfte des Wassers, so sind die Gewichte natürlich andere, aber die Hälfte des Sandes wird wieder etwa doppelt so schwer sein wie die Hälfte des Wassers. Das Ergebnis wird das gleiche sein, wenn wir noch andere gleiche Mengen Sand und Wasser abwiegen. Da 1 l Wasser 1 kg wiegt, muß 1 l Sand $\approx$ 2 kg wiegen. Machen wir den gleichen Versuch mit einem anderen Stoff als Sand, so werden wir die gleiche Feststellung treffen können, nur daß der Stoff dann vielleicht 3mal oder 4mal oder 2,5mal soviel wiegt wie Wasser. Man braucht also nur 1 l = 1 dm³ irgendeines Stoffes zu wiegen, um zu wissen, wieviel mal so schwer jede Menge dieses Stoffes ist wie die gleiche Menge Wasser. Ist er leichter als Wasser, so ergibt sich eine Zahl unter eins. Diese jedem Stoff eigentümliche Zahl nennt man seine Wichte. Sie gibt an, wieviel die Raumeinheit des Stoffes wiegt. Die Gewichtsangabe lautet

in g, wenn die Raumeinheit in cm³ gewählt wird,
in kg, wenn die Raumeinheit in dm³ gewählt wird,
in t, wenn die Raumeinheit in m³ gewählt wird.

Beispiele:	1 dm³	Wasser	wiegt	1 kg,	Wichte:	1,
	1 m³	Sand	„	2 t,	„	2,
	1 cm³	Stahl	„	7,8 g,	„	7,8,
	1 m³	Holz	„	0,8 t,	„	0,8,
	1 l	Benzin	„	0,7 kg,	„	0,7.

Der Ausdruck Wichte ist eine neuere Norm. Daher werden noch häufig die früher gültigen Ausdrücke Einheitsgewicht und spezifisches Gewicht gebraucht.

Die vorstehenden Beispiele zeigen, daß man das Gewicht jedes Körpers errechnen kann, wenn man seinen Rauminhalt kennt und die Wichte des Stoffes, aus dem er besteht.

Da die Wichte aller gebräuchlichen Stoffe bekannt ist, benutzt man sie zur Berechnung von Gewichten von Bau- und Maschinenteilen. Die Formel lautet:

$$\text{Gewicht} = \text{Rauminhalt} \cdot \text{Wichte}$$
$$G = V \cdot \gamma$$

Dabei ist G das Gewicht, γ (Gamma) die Wichte und V der Rauminhalt.

Beispiele:	12 m³ Holz	von der Wichte	0,8	wiegen	12 · 0,8 = 9,6 t
	20 l Benzin	„ „ „	0,7	„	20 · 0,7 = 14 kg
	5,5 cm³ Stahl	„ „ „	7,8	„	5,5 · 7,8 = 42,9 g

Übungsaufgaben

1) Das Gewicht der in Abb. 98 dargestellten Bohrunterlage aus Flußstahl ist zu berechnen ($\gamma = 7{,}85$).
2) Welches Gewicht hat die in Abb. 99 dargestellte Aufspannplatte aus Gußeisen? ($\gamma = 7{,}25$.)

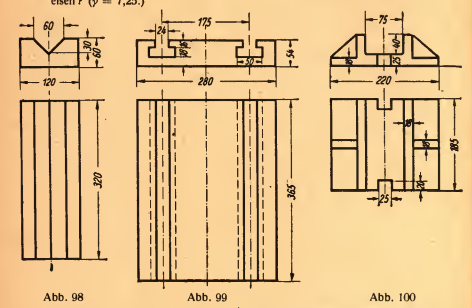


Abb. 98 Abb. 99 Abb. 100

3) Welches Gewicht hat der in Abb. 100 dargestellte Lagerkörper aus Stahlguß? ($\gamma = 7{,}85$.)
4) Lagernde ungesäumte Brettware 24 mm stark hat einen Wert von 180,— RM. je m³. Mit welchem Preis muß 1 m² angesetzt werden?
5) Wieviel m³ Holz ergeben sich aus untenstehender Holzliste?

Holzliste

Nr.	Benennung	Stückzahl	lfd. m einzeln	lfd. m gesamt			Bemerkungen
				14/16	16/18	18/24	
1	Balken 18/24	10	5,70				
2	Balken 18/24	8	5,20				
3	Wechsel 16/18	2	1,25				
4	Stiche 16/18	6	0,80				
5	Sparren 14/16	16	6,50				
6	Sparren 16/18	2	6,50				
			Zusammen				
			Zusammen	m³	m³	m³	

lfd. m = laufende Meter.

Arbeit und Leistung

Man beobachtet oft, wie bei einem Neubau Ziegelsteine, Dachschiefer, Balken und Bretter mit einem Seilzug nach oben befördert werden. In der Gießerei werden Gießkübel und fertige Gußstücke mit einem Kran angehoben, in Aufzügen werden Personen und Güter hochgeführt. In all diesen Fällen wird Arbeit verrichtet. Die Lasten müssen durch eine entsprechende Kraft gehoben werden. Je größer die Last, um so größer ist die aufzuwendende Kraft und um so größer wird die Arbeit. Wird die Last zwei-, drei-, fünf- oder zehnmal größer, so steigt auch die Arbeit auf das Zwei-, Drei-, Fünf- oder Zehnfache. Ebenso wächst die Arbeit mit der Vergrößerung der Hubhöhe. Wenn also die Hubhöhe verdoppelt oder versechsfacht wird, so steigt auch die Arbeit auf das Doppelte oder auf das Sechsfache. Die Arbeit hängt somit in gleicher Weise ab von der aufgewendeten Kraft und von der Hubhöhe.

Wir setzen einmal die Größe der Arbeit gleich 10, ohne uns um irgendeine Maßeinheit zu kümmern. Wird jetzt die Kraft verdoppelt, so wächst die Arbeit auf den Wert 2 mal 10, also 20. Wenn wir jetzt außerdem noch den Weg verdreifachen, so steigt die Arbeit weiterhin an auf den Wert 3 mal $20 = 60$.

Auf die gleich große Arbeit vom Wert 60 würden wir auch kommen, wenn wir bei einem Ausgangswert für die Arbeit von 10 bleiben, aber die Kraft verdreifachen und den Weg verdoppeln, denn es ist auch

$$10 \cdot 3 \cdot 2 = 60$$

Zu dem gleichen Endergebnis kommen wir auch, wenn wir die Kraft 4mal und den Weg 1,5mal so groß setzen. Wieder gilt:

$$10 \cdot 4 \cdot 1{,}5 = 60$$

Was wir hier mit dem Zahlenbeispiel 60 durchgeführt haben, gilt ganz allgemein. Immer ist die Arbeit gleich dem Produkt aus Kraft und Weg. Wir schreiben deshalb:

Arbeit (A) = Kraft (P) mal Weg (s)

Als Formel geschrieben erhalten wir:

$$\boxed{A = P \cdot s}$$

Fast durchweg wird die Kraft in kg und der Weg in m eingesetzt. Daraus ergibt sich als Maßbezeichnung für die Arbeit die Einheit 1 Kilogrammeter, abgekürzt geschrieben 1 kgm.

Die Arbeitseinheit 1 kgm wird abgegeben, wenn die Kraft von 1 kg auf einem Weg von 1 m wirkt.

1. Beispiel: Eine Last Ziegelsteine von 400 kg wird 12 m hoch auf einen Bau befördert. Welche Arbeit ist aufzuwenden?

Lösung: $A = P \cdot s = 400\ \text{kg} \cdot 12\ \text{m} = \underline{\underline{4800\ \text{kgm.}}}$

2. Beispiel: Der Fallbär eines Dampfhammers wiegt 250 kg, die Fallhöhe beträgt 1,20 m. Wie groß ist die Arbeit bei einem Schlag?
Lösung: $A = P \cdot s = 250 \text{ kg} \cdot 1{,}20 \text{ m} = \mathbf{300\ kgm.}$

3. Beispiel: Der Querschnitt eines Dampfmaschinenkolbens beträgt 5000 cm², der mittlere Dampfdruck ist 4,5 at (1 at = 1 Atmosphäre, das ist 1 kg Druck auf 1 cm²). Der Kolbenhub mißt 275 mm. Wie groß ist die Arbeit des Dampfes für einen einzelnen Kolbenhub?

Lösung: Zunächst berechnen wir den gesamten wirksamen Dampfdruck aus Kolbenfläche in cm² mal Druck auf 1 cm², also:

$$P = 5000 \text{ cm}^2 \cdot 4{,}5 \text{ kg/cm}^2 = \mathbf{22\,500\ kg.}$$

Dieser Dampfdruck wirkt während eines Hubes von 275 mm. Die abgegebene Arbeit beträgt somit:

$$A = P \cdot s = 22500 \text{ kg} \cdot 0{,}275 \text{ m} = 6187{,}5 \approx 6200 \text{ kgm.}$$

Die Dampfmaschine gibt mit jedem Hub **6200 kgm** ab.

Bei den bisherigen Besprechungen und Rechenbeispielen ist die Zeit nicht beachtet worden. Wenn wir aber von einer Arbeit hören, daß sie eine bestimmte Größe hat, so wissen wir noch nicht, ob sie in 2 Stunden oder in 1 Stunde fertig wurde. Das ist aber für die Beurteilung der Arbeit von großer Wichtigkeit. Wir können erst dann die Tüchtigkeit zweier Arbeiter vergleichen, wenn wir wissen, in welcher Zeit jeder von ihnen eine bestimmte Arbeit ausführt. Wenn wir aber z. B. für einen Arbeiter die Arbeit je Stunde oder für eine Maschine die Arbeit je Sekunde feststellen, so haben wir eine Leistung ermittelt.

Wir verstehen unter der Leistung die Arbeit in der Zeiteinheit. Es gilt:

Leistung ist Arbeit, geteilt durch die dazu benötigte Zeit,

oder:

$$\text{Leistung } (N) = \frac{\text{Arbeit } (A)}{\text{Zeit } (t)}$$

Als Formel schreiben wir: $\boxed{N = \frac{A}{t}}$.

Die Arbeit wird in kgm angegeben. Wird die Zeit in Sekunden (s) eingesetzt, so erhalten wir als Maßeinheit für die Leistung: 1 Kilogrammmeter je Sekunde = 1 kgm/s.

Beispiel: Eine Kolbenpumpe fördert stündlich 600 m³ Wasser. Die Förderhöhe beträgt 4,70 m. Wie groß ist die Pumpenleistung?

Lösung: 600 m³ Wasser wiegen 1000mal 600 kg = 600000 kg. Durch eine entsprechende Kraft muß diese Last gehoben werden. Die aufgewendete Arbeit ist:

$$A = P \cdot s = 600000 \text{ kg} \cdot 4{,}70 \text{ m} = \mathbf{2\,820\,000\ kgm.}$$

Diese Arbeit wird stündlich gefordert. Die Leistung ist die Arbeit in 1 Sekunde, also müssen wir die stündliche Arbeit durch 60mal 60 Sekunden = 3600 Sekunden teilen. Es gilt:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{2820000 \text{ kgm}}{3600 \text{ s}} = \mathbf{783{,}33 \approx 783\ kgm/s}$$

Neben der Einheit 1 kgm/s wird noch vielfach die Leistungseinheit eine Pferdestärke (1 PS) verwendet. 1 PS entspricht 75 kgm/s. Im Elektromaschinenbau rechnet man überwiegend mit der Leistungseinheit 1 Watt (1 W) oder mit der tausendfachen Größe 1 Kilowatt (1 kW).

Wir vergleichen diese Einheiten miteinander:

$$\boxed{1 \text{ PS} = 75 \text{ kgm/s}} \qquad \boxed{1 \text{ PS} = 736 \text{ W}}$$

Wenn 1 PS = 736 W = 0,736 kW ist, dann gilt:

$$1 \text{ kW} = \frac{1}{0{,}736} = 1{,}36 \text{ PS}$$

$$\boxed{1 \text{ kW} = 1{,}36 \text{ PS}}$$

Für das überschlägige Rechnen genügen die abgerundeten Zahlenwerte:

$$\boxed{\begin{array}{l} 1 \text{ PS} = \frac{3}{4} \text{ kW} \\ 1 \text{ kW} = \frac{4}{3} \text{ PS} \end{array}}$$

Beispiel: Auf dem Leistungsschild eines Gleichstromgenerators lesen wir: 7,5 PS. Wieviel kW sind das?
(Ein Gleichstromgenerator ist eine elektrische Maschine zur Erzeugung von Gleichstrom.)

Lösung:
$$\frac{7{,}5 \text{ PS}}{1{,}36 \text{ PS/kW}} = \underline{\underline{5{,}5 \text{ kW.}}}$$

Übungsaufgaben

6) Das Eigengewicht eines Aufzuges beträgt 0,85 t, die Höchstlast 1,5 t. In 20 s Fahrzeit werden 15 m überwunden. Wie groß ist die Antriebsleistung des Aufzugsmotors in PS und wie groß in kW?
7) In einem Marmorbruch wird ein Marmorblock mit Hilfe eines Kranes um 2 m von einer Sohle heruntergehoben. Der Block ist 1,40 m lang, 0,95 m breit und 0,80 m hoch. Die Wichte des Marmors beträgt 2,72. Welche Arbeit ist aufzuwenden?

Der elektrische Strom

Sie haben gewiß schon einmal die Sicherungen Ihrer Lichtanlage erneuern müssen. Sie verlangten Sicherungen für 6 Ampere oder Hauptsicherungen für 10 Ampere. Dabei haben Sie eine Angabe über die Stromstärke zur Kennzeichnung der Sicherungen benutzt. Auf einem elektrischen Bügeleisen oder auf einem elektrischen Lötkolben ist zu lesen: 5 A, 2,5 A. Das sind gleichfalls Angaben über die Stromstärke, nur ist diesmal die Maßeinheit Ampere mit ihrer Abkürzung „A" geschrieben. Sie sehen daraus, daß die elektrische Stromstärke in Ampere (A) gemessen wird. Vielleicht haben Sie auch schon einmal den Zähler, der zu Ihrer elektrischen Lichtanlage gehört, genauer angesehen. Auch dort treffen Sie eine Zahlenangabe zur Stromstärke. Alle diese Angaben sind wichtig im Hinblick

auf die Gesamtbelastung, die sie beim gleichzeitigen Anschluß mehrerer Stromverbraucher erzielen. Wenn z. B. in Ihrer Werkstatt ein Motor 12,5 A aufnimmt und die Lichtanlage 2,2 A verbraucht, so ist die Gesamtstromstärke in der Zuleitung 14,7 A. Die Sicherung könnte dann 15 A betragen. Würden Sie gleichzeitig noch einen elektrischen Lötkolben anschließen, der 2,8 A aufnimmt, so würde Ihre Gesamtbelastung auf 17,5 A steigen und die Sicherungen von 15 A nach kurzer Zeit durchbrennen.

Zur Messung des elektrischen Stromes wird der Strommesser benutzt, der meist als Amperemeter bezeichnet wird.

Oft schreibt man für das Wort Stromstärke nur den Buchstaben „I". Das ist eine Abkürzung oder ein Formelzeichen. Solche Abkürzungen sind in internationaler Zusammenarbeit von dem Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen, abgekürzt geschrieben AEF, festgelegt worden. Wenn Sie also auf dem Leistungsschild eines Elektromotors oder eines elektrischen Trockenofens lesen: I = 12,5 A, so ist dieses „I" als Stromstärke zu lesen.

Die Namen Stromstärke und elektrischer Strom sind vom fließenden Wasser entlehnt. Wir suchen uns damit ein Bild zurechtzulegen von der Naturkraft Elektrizität. Einen Fluß oder einen Strom können wir auffassen als eine ungeheure Zusammenballung unendlich vieler Wassertropfen. Den Wassertropfen entsprechen kleinste Teile des elektrischen Stromes, sie heißen Elektronen. Bewegte Elektronen nennen wir einen elektrischen Strom.

Wir merken uns:

1) Die Maßeinheit für den elektrischen Strom heißt 1 Ampere (1 A).
2) Das Meßgerät zur Messung des elektrischen Stromes ist der Strommesser (Amperemeter).
3) Die Gesamtbelastung beim gleichzeitigen Anschluß mehrerer Stromverbraucher darf die Nennangabe der eingebauten Sicherungen nicht überschreiten.
4) Bewegte Elektronen nennen wir einen elektrischen Strom.

Die elektrische Spannung

„Welche Spannung haben Sie?" fragt der Verkäufer, wenn Sie eine neue Glühlampe oder einen elektrischen Lötkolben oder ein Rundfunkgerät kaufen. Die Spannungsangabe ist wichtig, denn die elektrischen Geräte müssen für die Spannung gebaut sein, an die wir sie anschließen.

Die üblichen Netzspannungen sind 110 und 220 Volt bei Gleichstromnetzen oder 125 und 220 Volt bei Wechselstromnetzen. Besonders bei einem Wohnungswechsel oder der Verlegung Ihrer Werkstatt müssen Sie feststellen, ob Sie in dem neuen Grundstück die gleiche Spannung und die gleiche Spannungsart wiedertreffen, an die Sie bisher angeschlossen waren. Beim Übergang zu einer höheren Spannung werden die Stromverbraucher

beschädigt, sie brennen durch. Beim Übergang zu einer niederen Spannung brennen Glühlampen dunkel, und Motoren und andere Geräte arbeiten ungenügend. Bei einem Wechsel der Spannungsart müssen Sie prüfen, ob Sie Ihre Geräte weiterbenutzen können.

Die elektrische Spannung wird in Volt gemessen. Die Einheit 1 Volt (1 V) ist nach dem italienischen Arzt Volta benannt, der wichtige Untersuchungen durchgeführt hat zum Aufbau der noch heute viel benutzten Spannungsquellen, die wir als Elemente bezeichnen. Für die Benennung großer Spannungen bildet man die Einheit 1 Kilovolt, abgekürzt geschrieben 1 kV. Das ist die tausendfache Einheit von 1 Volt, genau so wie 1 km das Tausendfache von 1 m ist. Besonders Hochspannungsleitungen werden mit der Einheit Kilovolt gekennzeichnet. Man spricht dann meist nur die Abkürzungsbuchstaben, z. B.: Das ist eine Überlandleitung von 60 kV (sprich: 60 ka Vau). Die Meßgeräte zur Spannungs-

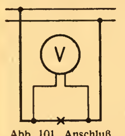


Abb. 101 Anschluß des Spannungsmessers

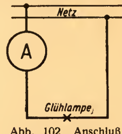


Abb. 102 Anschluß des Strommessers vor dem Verbraucher

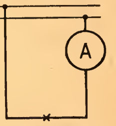


Abb. 103 Anschluß des Strommessers hinter dem Verbraucher

messung heißen Spannungsmesser oder Voltmeter. Ein Spannungsmesser wird mit zwei Kabeln angeschlossen. Ein Kabel schalten wir vor, das andere hinter das Gerät, dessen Spannungsaufnahme wir messen wollen. Die folgenden Skizzen zeigen den Anschluß eines Spannungsmessers (Voltmeter) und des vorher besprochenen Strommessers (Amperemeter). (Abb. 101, 102, 103).

Die Meßgeräte sind durch Kreise dargestellt, der eingeschriebene Buchstabe kennzeichnet sie als Spannungsmesser (V) oder Strommesser (A). Das liegende Kreuz stellt eine Glühlampe dar. Die beiden parallelen Linien gelten als Zuleitungen oder Netz. Diese Sinnbilder sind ebenfalls vom AEF festgesetzt worden. Als Abkürzungs- oder Formelzeichen wurde für die Spannung der Buchstabe „U“ gewählt.

Wir müssen uns noch mit der Frage beschäftigen: Was sollen wir uns unter der Spannung vorstellen? Wir gebrauchen dazu ein Bild. Wenn wir einen Autoreifen aufpumpen, so pressen wir so lange Luft hinein, bis die Oberfläche ganz prall wird — bis sie ganz straff gespannt ist. Diesen Vergleich können wir auf das elektrische Gebiet übertragen. Wenn auf einen Körper viele Elektronen gepreßt werden, so entsteht auf diesem

Körper ein „Elektronengedränge“. Dieses „Gedränge“ entspricht einer Kraft, die die Elektronenanhäufung abzustoßen versucht. Diese Kraft ist die Spannung, die die Elektronen in Bewegung setzt, d. h. die den elektrischen Strom durch die Leitungen und Apparate hindurchtreibt.

Die Spannung kann auch durch den menschlichen Körper einen elektrischen Strom hindurchjagen. Wir müssen deshalb beim Umgang mit elektrischen Anlagen und Geräten immer darauf achten, jede Berührung mit ungeschützten Metallteilen zu vermeiden, die unter Spannung stehen. Es ist unter allen Umständen leichtsinnig, mit den Fingern in eine geöffnete Steckdose oder in Sicherungselemente zu greifen, um festzustellen, ob „Saft“ drin ist, wie man so gern in der Werkstatt sagt. Auch Spannungen von 125 und 110 V, ja sogar von 65 V können tödliche Unfälle verursachen. Die Umstände sind entscheidend, unter denen eine Berührung mit spannungführenden Teilen zustande kommt. Die Beschaffenheit des Fußbodens, des Schuhwerks, das Allgemeinbefinden, vor allem aber schwitzige Körperoberfläche und die Größe der berührten Fläche haben entscheidenden Einfluß. Vermeiden Sie deshalb unter allen Umständen die Berührung ungeschützter, spannungführender Teile einer elektrischen Anlage!

Wir merken uns:

1) Die elektrischen Geräte müssen für die vorhandene Spannung gebaut sein.
2) Die Maßeinheit für die Spannung ist das Volt.
3) Elektrische Spannungen werden mit Spannungsmessern gemessen.
4) Die elektrische Spannung ist eine Kraft, die den elektrischen Strom durch die Leitungen und Geräte drückt.
5) Wir dürfen ungeschützte, spannungführende Teile nicht berühren.

Die Sicherungen

Wieder waren die Sicherungen durchgegangen! Da muß mit der elektrischen Anlage etwas nicht in Ordnung sein, oder in diesen kleinen Porzellanrollen, die sich so hochtrabend Sicherungen nennen, scheinen boshafte Teufel zu stecken.

Von einem Teufel erwarten wir in der Tat nur Böses. Sollten aber die Sicherungen zu diesem Zweck in die elektrische Anlage eingebaut sein? Nein! Sie sollen die elektrischen Anlagen sichern. Wohnräume, Ställe, Scheunen und Werkstätten, in denen elektrische Leitungen verlegt sind, sollen vor Brandgefahr geschützt sein. Deshalb sollen die Sicherungen in dem Augenblick durchbrennen und die Stromzufuhr unterbrechen, da die Leitungen durch zu starke Belastung sich unzulässig erwärmen. Das ist besonders bei einem Kurzschluß der Fall. Leicht entzündliche Teile, Holzverkleidungen, lagernde Erntevorräte, Dielen geraten in Brand. Oft sind umfangreiche Schadenfeuer entstanden, wenn sich die Brandherde an versteckten und schwer zugänglichen Stellen befanden (Abb. 103).

Ein Kurzschluß kann z. B. entstehen, wenn bei schadhafter Isolierung der Leitungen sich beide Drähte blank berühren. Das tritt leicht ein, wenn Kabel lange Zeit durch kräftige Sonneneinstrahlung oder Berührung mit Dampfheizungen stark erwärmt werden. Auch beim Ablegen von Werkzeugen, z. B. Elektrolötkolben während kurzer Arbeitsunterbrechungen, kann durch Unachtsamkeit der heiße Kolben auf dem Kabel aufliegen. Dadurch wird die Gummiisolierung brüchig und bröckelt mit der Zeit aus. Dann können sich unter der Baumwollumspinnung die blanken Adern berühren. Besonders auch die Anschlußstellen für Bügeleisen, Lötkolben, Bohrmaschinen und andere Handgeräte reiben sich nach längerem Gebrauch



Abb. 104 Bild Nr. 294 der Unfallverhütungsbilder


Abb. 105 Sicherung im Schnitt

Unfallverhütungsbilder werden herausgegeben vom Reichsverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e. V., Berlin W 9, Köthener Str. 37

durch. Dann ist rechtzeitig für Ersatz oder sachgemäße Abisolierung zu sorgen. Haben Sie nicht auch schon Ihren Stecker mit dem Kabel aus der Steckdose herausgezogen? Sehr bald zerreißen dabei einzelne dünne Litzendrähte, die das Kabel aufbauen. Sie spreizen seitlich ab und beim nächsten Einsatz des Steckers ist der Kurzschluß fertig. Dabei müssen alle Sicherungen durchgehen! Aber seien Sie froh, wenn Ihnen die Sicherung diesen Dienst erweist! Sonst brennen die Leitungen oder die angeschlossenen Geräte durch. Suchen Sie sofort nach der Ursache für das Durchbrennen, und beseitigen Sie diese, sonst werden neue Sicherungen sofort wieder durchbrennen! Immer sollten Sie Ersatzsicherungen im Haus haben. Das erspart Ihnen viel Ärger. Vor allem aber verleitet es Sie nicht, die soeben durchgebrannte Sicherung zu flicken. Ihr fester

Entschluß muß sein, unter gar keinen Umständen eine Sicherung zu flicken, selbst wenn Sie am Sonntagabend sich mit Kerzenlicht behelfen müßten oder wenn Sie bis zur Beschaffung neuer Sicherungen eine laufende Arbeit unterbrechen müßten. Die geflickte Sicherung ist keine Sicherung mehr, sie kann die Anlage nicht mehr sichern, weil der verbotene Überbrückungsdraht immer stärker sein wird als der feine Sicherungsdraht, der im Innern der Porzellanpatrone in Sand eingebettet liegt (Abb. 105). Dieser Aufbau hat seinen guten Grund! Wenn bei Überlastung der Sicherungsdraht schmilzt, so verspritzt er in feuerflüssigem Zustand. Die Temperatur beträgt aber dabei über 1000°. Sind aber geflickte Sicherungen eingesetzt, dann brennt meistens nicht der Flickdraht, sondern die Leitung an irgendeiner Stelle durch. Sie können sich denken, daß dann benachbarte Holz- oder Papierteile, die dieser hohen Schmelztemperatur ausgesetzt sind, augenblicklich aufflammen. Jährlich entstehen so viele Brände, besonders in der Landwirtschaft und in holzgewerblichen Betrieben. Dadurch wird erhebliches Volksvermögen vernichtet. Sie verstehen, daß die Brandversicherungen Ersatzleistungen ablehnen, wenn es ihnen gelingt nachzuweisen, daß der Brand durch geflickte Sicherungen verursacht wurde. Ein Brand kann dann zum wirtschaftlichen Untergang führen. Ist aber die Sicherung gar von einem Fachmann geflickt worden, dann zögern die Gerichte nicht mit der Strafe, die in besonders schweren Fällen sogar auf Entziehung der Berufsausübung lauten kann. Wenn die Frage untersucht wird: Warum werden Sicherungspatronen geflickt? dann zeigt sich immer wieder, daß nicht etwa die Anschaffungskosten für neue Sicherungen gescheut werden. Neue Sicherungspatronen kosten so wenig, daß dieser Betrag im einzelnen Haushalt keine Rolle spielt. Aber die Bequemlichkeit ist die Ursache. Es sind keine Ersatzpatronen vorrätig. Der Weg zum Händler ist zu weit und zu lästig. Deshalb kann allen Besitzern einer elektrischen Lichtanlage nur immer und immer wieder angeraten werden: Verwenden Sie Kleinautomaten! Diese werden von unseren großen Elektrizitätsfirmen, ich nenne Siemens und Halske, die AEG., Voigt und Haeffner, Stotz und andere, seit Jahren in den Handel gebracht (Abb. 106). Sie verursachen nur einmalige Anschaffungskosten. Sie sind aber stets gebrauchsfertig. Ersatzpatronen sind nicht nötig. Nach der Beseitigung der Überlastung oder der schadhaften Stelle genügt ein einfacher Druck auf einen Schaltknopf oder das Anheben eines kleinen Kipphebels und die Anlage ist wieder mit Licht- und Kraftstrom versorgt. Wenn Sie diese Darlegungen bis zu Ende gelesen haben, dann nehmen Sie sich fest vor: Ich werde unter gar keinen Umständen eine durchgebrannte Sicherung flicken! Vielleicht überprüfen Sie sogar, ob nicht auch für Ihre elektrische Anlage der Einbau von Sicherungsautomaten vorteilhaft wäre.



Abb. 106 Elfa-Automat der AEG

Die große Elektrizitätsrechnung

„Diese Stromrechnung! Das kann doch nicht mit rechten Dingen zugehen!" Wie oft hat schon der Meister mit diesem Stoßgebet seinem Herzen Luft gemacht, wenn die neue Elektrizitätsrechnung ins Haus kam. Aber es geht schon mit rechten Dingen zu. Die Elektrizitätszähler sind gewissenhafte Rechner. Stunde um Stunde läuft die blanke Metallscheibe hinter dem kleinen Glasfenster, Zahl um Zahl springt weiter in dem kleinen Zahlenfeld. Und wenn der Zählerbeamte des Elektrizitätswerkes seine Ablesung verbucht, da werden die aufgelaufenen Zahlen gewissenhaft in das große Kontobuch übertragen. Zähler und Werk sind unbestechlich! Nur wir erschrecken über die hohen Zahlen, die im Laufe eines Monats angewachsen sind. Dabei ist es so einfach, seinen Elektrizitätsverbrauch weitgehend selbst zu ermitteln. Auf allen elektrischen Maschinen und Geräten lesen wir die elektrische Leistungsaufnahme in Watt oder Kilowatt (W, kW). Das Elektrizitätswerk verkauft uns elektrische Arbeit in der Einheit Kilowattstunden (kWh). Aus dieser Einheit sehen wir, daß wir die Leistungsaufnahme unserer Maschinen und Geräte in der Einheit Watt oder Kilowatt nur mit der Betriebszeit in Stunden (h) malzunehmen haben, um die elektrische Arbeit, gemessen in kWh, selbst zu finden. Für jede volle kWh berechnet uns das Werk den vereinbarten Tarifpreis. Dieser ist meist verschieden für Haushalte und für Gewerbebetriebe und außerdem gestaffelt nach dem Verbrauch. Auch die Tarife der verschiedenen Elektrizitätswerke weichen voneinander ab.

An einfachen Beispielen verstehen wir das sehr schnell. In einem Haushalt wurde während des Monats Juli nur sehr selten das Licht eingeschaltet. Eine 50-W-Lampe brannte durchschnittlich täglich eine Stunde. Wie groß wird die Juli-Rechnung, wenn das Werk einen Festpreistarif von 40 Rpf./kWh zugrunde legt? Wenn die Lampe eine Stunde (1 h) brennt, so werden 50 W mal 1 Stunde, das sind 50 Wattstunden (Wh) verbraucht. In 31 Tagen sind das 31mal 50 Wh, also 1550 Wh oder 1,550 kWh. Den Preis berechnen wir aus Festpreis je kWh (40 Rpf.) mal Verbrauch in kWh (1,55 kWh), also: 1,55 mal 40 = 62,00 Rpf. Der Abnehmer hat im Juli 62 Rpf. für die Lichtrechnung zu bezahlen. In Wirklichkeit verteilt sich dieser Betrag, weil das Werk nur volle kWh berechnet. Es könnte also die Rechnung auch nur auf 40 Rpf. lauten, während dann die restlichen 22 Rpf. erst in der Rechnung des nächsten Monats erscheinen.

Ein Schlossermeister hat drei Motoren zum Antrieb seiner Maschinen angeschlossen. Die Bohrmaschine wird von einem 1-kW-Motor, die Schnellhobelmaschine von einem Motor von 2,5 kW und die Drehbank von einem 1,5-kW-Motor angetrieben. Der Schlossermeister hat sich die Ablesung des Zählerbeamten sagen lassen. Es wurden abgelesen: 02773 kWh am Anfang des Monats und 03393 kWh am Monatsende. Der Unterschied beider Zahlen ist der Monatsverbrauch. Der Schlossermeister rechnet: 03393 — 02773 = 620 kWh. Und nun rechnet er weiter:

620 kWh · 0,16 RM. = 99,20 RM. Dazu kommt der Grundpreis von 6,70 RM. Zusammen sind das 105,90 RM. So viel kann er doch gar nicht verbraucht haben! Nun macht er eine Überschlagsrechnung mit folgenden Annahmen. Die Maschinen sollen täglich an 27 Arbeitstagen im Durchschnitt 5 Stunden mit Vollast in Betrieb gewesen sein. Der Anschlußwert, das ist die Leistungsaufnahme aller Maschinen, beträgt: 1 + 2,5 + 1,5 kW = 5 kW. Der Verbrauch für einen Tag ist dann 5 kW · 5 Std. = 25 kWh und für 27 Arbeitstage macht das 25 kWh · 27 = 675 kWh. 675 kWh · 0,16 RM. = 108,— RM. Dazu ist der Grundpreis zu zählen von 6,70 RM., das gibt 114,70 RM.

Mit dieser Überschlagsrechnung würde der Rechnungsbetrag sogar noch größer ausfallen. Daraus erkennt der Schlossermeister, daß die Angaben des Zählers und somit die Abrechnung des Werkes doch zu Recht bestehen.

Das eigene Rechnen hat die Elektrizitätsrechnung nicht kleiner gemacht, aber es ist schon gut, wenn man sich durch gelegentliche Überprüfung überzeugt, daß es bei der Festsetzung der Monatsrechnung durch das Elektrizitätswerk „mit rechten Dingen" zugegangen ist.

Großkraftwerke

Die Elektrizitätsversorgung Großdeutschlands wird heute weitgehend durch Großkraftwerke sichergestellt. Sie sind zum gegenseitigen Austausch ihrer Energie über ausgedehnte Fernleitungen vielfach miteinander gekuppelt. Die Großkraftwerke nutzen Wasserkräfte und Kohlenfelder, deren Vorkommen in vielen Fällen für die Lage der Werke bestimmend ist.

Im neuzeitlichen Wassergroßkraftwerk hat der Mensch erneut gelernt, die gewaltigen Naturkräfte des bewegten Wassers in seinen Dienst zu stellen. Wasserkräfte waren neben der Windkraft die ältesten Antriebskräfte, die der Mensch zu nutzen verstand. Mit der Erfindung und Entwicklung der Dampfmaschine verlor die Wasserkraft erheblich an Bedeutung. Sie wurde zurückgedrängt auf den Antrieb kleingewerblicher Mühlen und Sägewerke. Heute ist die Wasserturbine die leistungsfähige Großmaschine des Wasserkraftwerkes. Wir unterscheiden Hoch- und Niederdruckwasserwerke. Die Hochdruckwerke arbeiten mit großer Fallhöhe und verhältnismäßig geringer sekundlicher Wassermenge. Das Walchenseewerk in Oberbayern, das durch seine landschaftlich bevorzugte schöne Lage besonders bekannt ist, und das Schluchseewerk in Baden sind solche Werke. In großen Rohrleitungen stürzt das Wasser des Walchenseewerkes vom Walchensee hinunter in das Turbinenhaus am Kochelsee. Große Teile Oberbayerns werden von diesem Kraftwerk mit elektrischem Strom versorgt.

Die Niederdruckwerke liegen an Wasserläufen mit geringer Fallhöhe. Oft sind es nur wenige Meter, aber sie nutzen große sekundliche Wassermengen. Im Kachletkraftwerk in der Donau (oberhalb Passaus) und im

Innwerk bei Töging beträgt die Fallhöhe nur etwa 6 m. Die Wasserzufuhr erfolgt durch Einlaufschleusen, die in Zusammenarbeit mit dem Stauwehr den Wasserdurchgang durch den Oberwasserkanal regeln. Nachdem das Wasser seine Energie in Turbinen abgegeben hat, wird es im Unterwasserkanal wieder zum Strom zurückgeleitet.

Eine Sonderstellung nimmt das Pumpspeicherwerk Niederwartha bei Dresden ein. Es besitzt die gleiche Leistungsfähigkeit wie das Walchenseewerk und arbeitet mit dem Kraftwerk „Sächsiche Werke AG." und mit dem Elektrizitätswerk der Stadt Dresden zusammen. Wasser der Elbe wird während der Nachtstunden in große Sammelbehälter gepumpt, die auf den Uferhöhen errichtet sind. Dabei verbrauchen die Antriebsmotoren der Pumpen die Überschußenergie der Kraftwerke, die sie während der Nacht nicht absetzen können. In den Stunden der Hauptbelastung der Kraftwerke, die nach der Jahreszeit verschieden liegen, können die Kraftwerke die von ihnen angeforderte Energie zuweilen nicht aufbringen. Jetzt wird das hochgepumpte Wasser durch große Rohre zur Elbe zurückgelassen. Dabei werden große Freistrahlturbinen oder Peltonräder angetrieben, die mit elektrischen Generatoren gekuppelt sind. So gewinnt man den größten Teil der dem Speicherwerk zugeführten elektrischen Energie zurück und steigert damit die Leistungsfähigkeit der Hauptwerke.

Auch viele Dampfkraftwerke besitzen in Wärmespeichern die Möglichkeit, überschüssige Wärme für Stunden gesteigerten Bedarfs zu speichern. Dieselmaschinen sind für Wasser- und Dampfkraftwerke Augenblicksreserven und Hilfssätze zur Deckung des Eigenbedarfs.

Die Dampfkraftwerke sind bei Verwendung von Braunkohle mit geringem Heizwert standortgebunden. Bei Verwendung hochwertiger Kohle können die Kraftwerke an die Verbraucher herangerückt werden. Entscheidend sind hierbei die Transportkosten und die Lagerfähigkeit der Kohle. Braunkohle besitzt einen geringeren Heizwert als Steinkohle. Es sind deshalb größere Braunkohlenmengen nötig zur Erzeugung der gleichen Elektrizitätsmenge als in einem Kraftwerk, das mit hochwertiger Steinkohle arbeitet. Größere Kohlenmengen aber bedingen größere Frachtsätze. Diese verteuern die erzeugte elektrische Energie. Die Braunkohle verliert außerdem bei längerem Lagern an Heizwert. Deshalb sind die Braunkohlenkraftwerke unmittelbar auf dem Gelände der Braunkohlengruben errichtet. Besonders bei der Gewinnung der Braunkohle im Tagebau wandert die Kohle ohne Zwischenlagerung aus der Grube unter die Dampfkessel des Kraftwerkes. Die Kraftwerke Golpa-Zschornewitz bei Bitterfeld, Böhlen bei Leipzig und Hirschfelde in der Oberlausitz sind solche Braunkohlenkraftwerke.

Die Elektrizitätswerke vieler Großstädte und zahlreicher Industrieanlagen sind überwiegend Steinkohlenkraftwerke. Goldenberg im rheinisch-westfälischen Industriebezirk, Klingenberg und das Kraftwerk West bei Berlin sind Steinkohlengroßkraftwerke.

Kohlenkraftwerke haben meist mit ihren Kohlengewinnungs- und Förderanlagen, mit ihren Kühltürmen, Entaschungsanlagen und sonstigen Nebenanlagen einen größeren Bedarf an bebauter Fläche als Wasserkraftwerke. Ihre Schornsteine und Kühltürme sind weithin sichtbare Wahrzeichen der Landschaft.

Vom Wasser

Im Winter bei starkem Frost erleben wir es oft, daß Wasserleitungsrohre platzen. Wie ist das zu erklären? Bekanntlich haben alle Körper, gleich, ob sie fest, flüssig oder luftförmig sind, die Eigenschaft, sich in der Kälte zusammenzuziehen und bei Erwärmung auszudehnen. Wir beobachten diese Erscheinung z. B. bei den elektrischen Freileitungen. Im Sommer hängen Freileitungen in stärkerem Bogen herab als im Winter. Kälte zieht die Körper zusammen, Wärme dehnt sie aus. Dieses Naturgesetz gilt auch für das Wasser, allerdings mit einer gewissen Einschränkung. Wasser hat seine stärkste Zusammenziehung, also seine größte Dichte, bereits bei + 4° C. Das bedeutet: Erwärmen wir Wasser von 4° C, so dehnt es sich, der allgemeinen Regel folgend, aus. Wasser dehnt sich aber auch aus, wenn wir es von 4° C abkühlen auf 3°, 2°, 1°, 0° C. Bei 0° C gefriert das Wasser. Hierbei entstehen aus 10 *l* Wasser 11 *l* Eis. In gefüllten Wasserrohren, Wasserbehältern und Regenfässern treibt daher das Wasser beim Gefrieren die Wandungen auseinander. Wasserrohre müssen geschützt verlegt werden. Wasserbehälter dürfen ebenfalls nicht dem Frost ausgesetzt sein. Regenfässer sind vor dem Winter zu entleeren. Das Verwittern des porösen Gesteins in der Natur beruht gleichfalls auf dem Gefrieren des Wassers.

Wie bereits erwähnt, hat Wasser bei 4° C seine größte Dichte. Bei 4° C ist somit das Wasser am schwersten. In Seen und Teichen sinkt im Winter das Wasser der Oberfläche infolge der Abkühlung allmählich nach unten. Das unten befindliche wärmere Wasser steigt nach oben, bis auch dieses durch Abkühlung schwerer wird und leichteren, also wärmeren Flüssigkeitsteilchen den Weg nach oben freigibt. Sind alle Flüssigkeitsteilchen auf 4° C abgekühlt, so hört die Wanderung auf, bis schließlich durch die weitere Abkühlung der Oberfläche bei 0° C das Wasser gefriert und eine Eisdecke sich bildet. Unter der Eisdecke aber bis nahe an diese heran bleibt die Temperatur des Wassers auf 4° C stehen. Immer langsamer werden die unmittelbar unter der Eisdecke befindlichen Wasserteile zu Eis. Die Eisdecke bildet einen Kälteschutz. So sorgt die Natur dafür, daß auch im Winter das Leben der Fische und Pflanzen nicht erstirbt.

Das Eis schwimmt auf dem Wasser. Wir beobachten das besonders deutlich bei Tauwetter an den treibenden Eisschollen. Eis nimmt einen größeren Raum ein als die entsprechende Menge Wasser. Daraus ergibt sich, daß das Gewicht der Einheit, die Wichte des Eises, kleiner sein muß als die des Wassers. Wasser von 4° C hat die Wichte 1, mithin ist die

Wichte von wärmerem oder kälterem Wasser, also auch von Eis, kleiner als 1. Körper mit geringerer Wichte als 1 schwimmen auf dem Wasser, Körper mit größerer Wichte als 1, wie z. B. Steine und Metalle, gehen unter. Nun kommt noch der Fall vor, daß die Wichte eines Körpers der des Wassers entspricht, also gleich 1 ist. Ein Körper mit der Wichte 1 wird weder schwimmen noch untergehen — er schwebt im Wasser. Ein Beispiel hierfür ist der menschliche Körper selbst. Schreiten wir allmählich in das Wasser, so empfinden wir deutlich, wie gewissermaßen unser Eigengewicht allmählich aufgehoben wird durch Kräfte, die von unten nach oben wirken. Diese Kräfte sind so groß, daß sie schließlich dem Körper das Gleichgewicht halten.

Betrachten wir diese Erscheinung an einem Stück Holz, das wir in einen mit Wasser gefüllten Behälter eintauchen wollen, etwas genauer. Beim Eintauchen werden die Wasserteilchen verdrängt. Sie versuchen, von allen Seiten vordringend, ihre ursprüngliche Lage wieder einzunehmen. Dabei üben sie Gegendrücke auf das eintauchende Holzstück aus. Diese Gegendrücke haben die gleiche Größe wie die von dem Holzstück auf das Wasser ausgeübten Drücke, denn sonst würde der Körper ja nicht schwimmen. Diese Drücke sind in ihrer Summe also gleich dem Gewicht des Körpers. Die seitlich auf das Holzstück einwirkenden Kräfte greifen rundum an. Sie sind gegeneinander gerichtet und heben sich daher in ihrer Wirkung auf. Lediglich die von unten nach oben gerichteten Kräfte werden wirksam. Sie sind die Ursache des Schwimmens oder allgemein des Leichterwerdens aller Körper im Wasser. Wir bezeichnen diese nach oben gerichtete Kraft als Auftrieb.

Bohrt man einen gefüllten Wasserbehälter an, so quillt mehr oder weniger schnell das Wasser bis zur Höhe der Öffnung heraus. Wir erkennen somit, daß das Wasser auf die Wandungen einen Druck ausübt. Diesen seitlich wirkenden Druck nennt man Seitendruck. Liegt die Öffnung nahe dem Wasserspiegel, so ist der Strahl kurz. Je tiefer die Öffnung liegt, um so weiter geht der Strahl. Die Erklärung finden wir durch eine einfache Überlegung. Alle Wasserteilchen haben ihr Gewicht. Sie drücken infolge der Schwere nach unten. So entsteht zunächst einmal der Druck auf den Boden oder der Bodendruck. Würde der Boden nachgeben, so fiele das Wasser einfach heraus. Denken wir uns nun die Wandungen aus elastischem Stoff, z. B. aus Gummi, so würden die Wandungen auseinandergedrückt. Dieses Auseinanderdrücken würde sich nahe am Boden am stärksten bemerkbar machen, da hier das Gewicht der gesamten darüberbefindlichen Wassermenge wirksam ist. Je höher also das Wasser über der Ausflußöffnung steht, um so größer ist der Druck an dieser Stelle und desto größer auch die Strahlweite.

Verbinden wir ein mit Wasser gefülltes und ein leeres Gefäß miteinander durch ein Anschlußrohr in beliebiger Höhe der unteren Hälfte, so fließt so lange Wasser aus dem vollen in das leere Gefäß, bis der Wasserspiegel beider Gefäße in gleicher Höhe steht. Denn dann ist der Druck in der

Höhe des Anschlußrohres in beiden Gefäßen gleich. Darauf beruht die Wirkung der Schleuse. Der Schleusenraum wird jeweils mit dem höheren oder niedrigeren Wasserspiegel des Kanals durch Rohre in Verbindung gebracht. Dann fließt das Wasser vom höheren Wasserspiegel in die Schleuse oder aus der Schleuse zum niedrigeren Wasserspiegel ab, bis die Wasserspiegel die gleiche Höhe erreicht haben und das Tor sich öffnen läßt. In kleinerem Maßstab ist der Versuch an zwei durch einen Schlauch verbundenen Wassergefäßen zu machen. Der Wasserspiegel stellt sich immer in beiden Gefäßen gleich hoch ein, auch wenn man das eine Gefäß hebt oder senkt. Solche miteinander verbundene Gefäße nennt man verbundene oder kommunizierende Gefäße.

Nehmen wir eine gewöhnliche Fahrradpumpe zur Hand! Halten wir die Öffnung mit dem Finger zu und bewegen den Kolben, so werden wir finden, daß sich die Luft sehr stark zusammendrücken läßt. Bei einer Füllung der Pumpe mit Wasser wird uns das nicht gelingen. Wasser ist nur äußerst wenig zusammendrückbar. Ferner werden wir feststellen, daß der ausgeübte Druck von unserem Finger empfunden wird. Der Druck pflanzt sich also fort, und zwar, wie leicht einzusehen ist, nach allen Seiten. Flüssigkeitsdrücke mißt man ebenso wie Dampfdrücke mit Druckmessern (Manometer). Als Einheit für die Druckmessung gilt der Druck von 1 kg auf 1 cm^2 (1 kg/cm^2). Man bezeichnet ihn als eine Atmosphäre (1 at). Die Angabe 6 at bedeutet demnach, daß auf 1 cm^2 gedrückte Fläche ein Druck von 6 kg wirksam ist.

Wir haben nunmehr die Eigenschaften des Wassers in seiner festen Form als Eis sowie als Flüssigkeit behandelt. Wasser kennen wir aber auch in luftförmiger Gestalt als Nebel und Dampf. Nebel bildet sich im Gegensatz zum Dampf bei niederer Temperatur.

Unter der Einwirkung der Sonnenwärme verdunstet das Wasser der Seen, Bäche, Teiche und feuchten Wiesen in erhöhtem Maße. Nach dem Sonnenuntergang kühlt besonders im Herbst die Luft sehr stark ab. Hierdurch zieht sich der Dunst zusammen und bildet Wassertropfen, die wir als Nebel bezeichnen.

Der Dampf entsteht unmittelbar aus dem Wasser. Erwärmen wir Wasser in einem offenen Gefäß, so können wir den Vorgang der Dampfbildung genau beobachten. Zuerst bemerken wir kleine nach oben steigende Luftbläschen. Dann tritt eine Bewegung im Wasser ein. Die erwärmten und dadurch leichter gewordenen Wasserteilchen wandern nach oben und geben dort einen Teil ihrer Wärme an die Luft ab. Sie werden von wärmeren Teilchen abgelöst und sinken dabei immer tiefer, bis auch sie wieder neue Wärme am Boden des Gefäßes aufnehmen und erneut aufwärts steigen. Auf diese Weise bildet sich eine immer stärker werdende Flüssigkeitsströmung aus. Bald setzt auch die Dampfbildung ein. In ständig größer werdenden Blasen entweicht der Dampf zur Oberfläche, bis schließlich bei 100° C der Wasserspiegel in starke Wallungen gerät, vorausgesetzt, daß die Verdampfung unter normalem Luftdruck vor sich geht. Diesen

Vorgang nennt man Sieden. Die hierzu erforderliche Temperatur von 100° C ist der Siedepunkt. Der Wasserdampf setzt sich im geschlossenen Raum an den kalten Wänden oder den kalten Fensterscheiben ab. Da er nur bei 100° C (wieder normaler Luftdruck vorausgesetzt) die Dampfform beibehalten kann, wird er wieder zu Wasser. Der Dampf verdichtet sich oder kondensiert. In geschlossenen Gefäßen drückt der entstehende Dampf in steigendem Maße auf das Wasser. Dadurch wird das Sieden verzögert. — Der Siedepunkt steigt immer höher. Verringerter Druck setzt den Siedepunkt herab. In jedem dieser Fälle aber wird der Dampf bei geringerer Abkühlung wieder zu Wasser. Man trennt deshalb den Dampf vom Wasser und erhitzt ihn für sich weit über die Siedetemperatur des Wassers hinaus. Wir erhalten auf diese Weise den überhitzten Dampf. Der überhitzte Dampf behält solange die Dampfform bei, bis auch er sich unter die Siedetemperatur abgekühlt hat.

Von der mechanischen Energie

Es ist Arbeit = Kraft mal Weg, also

$$A = P \cdot s \text{ (in kgm)}$$

Soll z. B. die Pumpe c in Abb. 107 eine Wassermenge von 0,1 m³, also von einem Gewicht $G = 100$ kg, aus dem unteren in den oberen Behälter

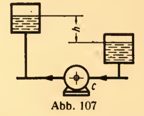


Abb. 107

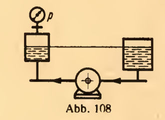


Abb. 108

fördern bei einem Höhenunterschied von $h = 150$ m, so ist hierzu eine Arbeit erforderlich von $A = P \cdot s = G \cdot h = 100 \cdot 150 = 15000$ kgm.

In den Kraftbetrieben fällt den Speisepumpen außer der Höhenförderung auch die Förderung von Wasser gegen den Kesseldruck zu. Sie sollen das Speisewasser aus einem nicht geschlossenen Behälter dem unter Betriebsdruck stehenden Kessel zuführen (Abb. 108).

Bei diesem Vorgang haben die Pumpen den vom Druckmesser angezeigten Druck zu überwinden. Dieser Kesseldruck entspricht also dem oben angeführten Höhenunterschied h (Abb. 107). Der Druck im Kessel (p) wird bekanntlich gemessen in kg/cm² oder at. Eine Wassersäule von 1 cm² Querschnitt und 10 m = 1000 cm Höhe ist ein Prisma. Ihr Rauminhalt beträgt demnach $1 \cdot 1000 = 1000$ cm³. 1000 cm³ Wasser aber wiegen 1 kg ($G = V \cdot \gamma = 1000 \cdot 1 = 1000$ g). Daraus ergibt sich, daß einem Druck

von einer at im Kessel eine Förderhöhe von 10 m entspricht. Beträgt der Kesseldruck p at, so ist das einer Förderhöhe von $p \cdot 10$ m gleichzusetzen. Die Nutzarbeit der Pumpe (Abb. 108) berechnet sich also zu:

$$A = G \cdot p \cdot 10 = 10 \cdot G \cdot p \text{ kgm}$$

Liegt nun aber der Wasserspiegel im Speisewasserbehälter h m unter dem Spiegel des Kesselwassers (Abb. 109), so hat die Pumpe eine Arbeit von $G \cdot h$ kgm mehr zu leisten.

Liegt der Wasserspiegel dagegen h m über dem Kesselwasserspiegel, so braucht die Pumpe um $G \cdot h$ kgm weniger Arbeit zu leisten. Im ersten Falle (Abb. 109) ist also die Nutzarbeit der Pumpe:

$$A = 10 \cdot G \cdot p + G \cdot h \text{ kgm}$$

und im zweiten Falle (Abb. 110):

$$A = 10 \cdot G \cdot p - G \cdot h \text{ kgm}$$

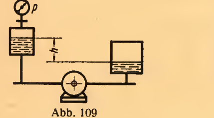


Abb. 109

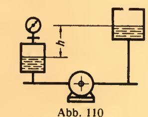


Abb. 110

Beispiel: Eine Pumpe führt dem Dampfkessel bei einem Manometerdruck von 20 at 300 kg (0,3 m³) Wasser zu. Die Nutzarbeit der Pumpe soll berechnet werden für folgende Fälle:

a) Die Wasserspiegel im Kessel und Speisewasserbehälter liegen gleich hoch.
b) Der Wasserspiegel im Kessel liegt 4 m höher als im Speisewasserbehälter.
c) Der Wasserspiegel im Kessel liegt 4 m tiefer als im Speisewasserbehälter.

Lösung: Zu a) $A = 10 \cdot G \cdot p = 10 \cdot 300 \cdot 20 = 60000$ kgm
Zu b) $A = 10 \cdot G \cdot p + G \cdot h = 60000 + 300 \cdot 4 = 61200$ kgm
Zu c) $A = 10 \cdot G \cdot p - G \cdot h = 60000 - 1200 = 58800$ kgm

Wird nun diese Pumpenarbeit in 50 Minuten ausgeführt, so ist die Nutzleistung der Pumpe für den Fall a (Abb. 108) nach der uns bekannten Formel für die Leistung

$$N = \frac{A}{t}$$

$$N = \frac{60000}{50 \cdot 60} = 20 \text{ kgm/s}$$

(Die Zeit haben wir in s einzusetzen, 50 min = 50 · 60 s). Will man die Leistung in PS ausdrücken, so hat man den Ausdruck noch durch 75 zu teilen (denn 1 PS = 75 kgm/s). Dann ergibt sich:

$$N = \frac{A}{t \cdot 75} = \frac{60000}{50 \cdot 60 \cdot 75} = \frac{20}{75} = 0{,}267 \text{ PS}$$

Soll die Leistung in kW angegeben werden, so hat man, da ein kW = 102 kgm/s ist, statt durch 75 durch 102 zu teilen. Also

$$N = \frac{A}{t \cdot 102} = \frac{20}{102} = 0{,}196 \text{ kW}$$

Wird nun 1 kW 1 Stunde (gleich 3600 s) lang geleistet (das ist 1 kW-Stunde), so ist damit eine Arbeit vollbracht von $102 \cdot 3600 \approx 367000$ kgm.
Es ergibt sich daraus:

$$\boxed{1 \text{ kWh} = 367000 \text{ kgm}}$$

Ebenso ergibt sich

$$\boxed{1 \text{ PSh} = 75 \cdot 3600 = 270000 \text{ kgm}}$$

Um das Gewicht in Abb. 111 aus der Lage *a* in die Lage *b* zu bringen, ist die Arbeit $A = G \cdot h = 200 \cdot 20 = 4000$ kgm erforderlich. Es besitzt nun in *b* gegenüber der früheren Lage *a* eine Arbeitsfähigkeit, und wenn es aus einer Höhenlage *b* herabsinkt, leistet es Arbeit, die an der Trommelwelle nutzbar gemacht werden kann. (Anwendung: Gewichte beim Uhr-

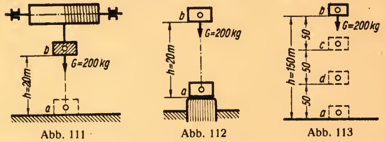


Abb. 111 Abb. 112 Abb. 113

werk). Da die Arbeitsfähigkeit des Körpers auf einer höheren Lage *b* gegenüber *a* beruht, so bezeichnet man sie als Energie der Lage (potentielle Energie). Fällt das Gewicht *G* frei herab (Abb. 111 und 112), so wächst seine Geschwindigkeit mehr und mehr, je näher es der Erde kommt. Die Lageenergie geht in Geschwindigkeitsenergie über. Für Geschwindigkeitsenergie sagt man auch kinetische Energie oder Bewegungsenergie. Beispiele hierfür: Schlagwirkung des Rammbären beim Aufschlagen, Bewegungsenergie des Schwungrades. Nach dem Gesetz von der Erhaltung der Energie bleibt nun die Energie stets unveränderlich. Die aufgewendete Arbeit von 4000 kgm (Abb. 112), die zum Heben des Gewichts erforderlich und in der Höhenlage *b* als Lageenergie aufgespeichert war, trifft als Bewegungsenergie in der gleichen Größe auf den Rammpfahl, wo sie in Rammarbeit umgesetzt wird. Die Geschwindigkeitsenergie ist also beim Auftreffen in der Höhe *a* genau so groß wie die Lageenergie in der Höhe *b*. In der Höhenlage *c* (Abb. 113) hat das Gewicht einen Teil seiner Lageenergie in Geschwindigkeitsenergie umgesetzt, und zwar $200 \cdot 50 = 10000$ kgm. Es verfügt aber noch über $200 \cdot 100 = 20000$ kgm

potentielle Energie. In der Lage *d*: Geschwindigkeitsenergie = 200 · 100 = 20000 kgm, Lageenergie = 200 · 50 = 10000 kgm. In der Lage *a*: Geschwindigkeitsenergie 30000 kgm, Lageenergie = Null. An jeder Stelle des Fallweges ist die

Gesamtenergie = Lageenergie + Geschwindigkeitsenergie

Die besprochenen Energieformen nennt man mechanische Energie.

Übungsaufgaben

8) Das Manometer eines Dampfkessels zeigt 12,5 at Druck an. In der Stunde werden 540 kg Wasser verdampft, die durch die Speisepumpe ersetzt werden müssen. Der Wasserspiegel des Kessels liegt 6 m höher als der Wasserspiegel im Speisewasserbehälter. Wie groß ist die Nutzarbeit der Speisepumpe je Stunde?
9) Wie groß ist die Rammarbeit eines Rammbären bei 10 Schlägen, wenn dieser ein Gewicht von 120 kg hat und aus einer Höhe von 5 m auf den Pfahl herabfällt?

Von der Gleichwertigkeit der mechanischen Arbeit und Wärme

Die in den Brennstoffen enthaltene Energie läßt sich in Wärme umsetzen. Die in der Feuerung entstandene Wärme wird in den Kraftmaschinen in mechanische Arbeit verwandelt. Die mechanische Arbeit kann sich aber auch umgekehrt in Wärme umwandeln. Man erkennt das z. B. daran, daß ein Lager selbst bei guter Schmierung warm wird. Reibt man mit der Hand rasch über den Tisch, so macht man dieselbe Erfahrung. Auch beim Bohren, Drehen, Schleifen, Fräsen usw. entsteht Wärme. Daraus folgt, daß Wärme und mechanische Arbeit zwei einander gleichwertige Energieformen sind.

Wenn wir nun feststellen wollen, welche Beziehung zwischen dem kgm und der Maßeinheit für die Wärmemenge besteht, müssen wir uns zunächst klar werden über diese Maßeinheit. Diese ist die Kilokalorie, abgekürzt geschrieben: kcal.

Eine Kilokalorie ist diejenige Wärmemenge, die erforderlich ist, um 1 kg Wasser um 1° C zu erwärmen.

Beispiel: In einem Vorwärmer sollen 80 kg Wasser von 17° C auf 40° C vorgewärmt werden. Wie groß ist die zuzuführende, also die vom Wasser aufzunehmende Wärmemenge?

Lösung: Um 1 kg Wasser um 1° C zu erwärmen, benötigt man 1 kcal. Um 1 kg Wasser von 17° C auf 40° C zu bringen, also es um 40 — 17 = 23° C in der Temperatur zu erhöhen, braucht man 23 kcal. Für die Erwärmung von 80 kg Wasser um 23° C sind 80mal soviel kcal erforderlich, also 80 · 23 = 1840 kcal.

Allgemein: Bezeichnet Q die Wärmemenge, G das Gewicht des Wassers, t_1 die Anfangstemperatur, t_2 die Endtemperatur, $t_2 - t_1$ also den Temperaturunterschied, so ist

$$\boxed{Q = G \cdot (t_2 - t_1) \text{ kcal}}$$

Zahlreiche Versuche haben nun ergeben, daß zur Erzeugung einer kcal eine mechanische Arbeit von 427 kgm erforderlich ist. Diese Zahl 427 heißt das mechanische Wärmeäquivalent (Wärmegleichwertigkeit) und wird mit J bezeichnet.

$$\boxed{J = 427 \text{ kgm/kcal}}$$

Zur Verrichtung einer Arbeit von 427 kgm ist also 1 kcal erforderlich, demzufolge braucht man zur Leistung einer Arbeit von 1 kgm eine Wärmemenge von $\frac{1}{427}$ kcal und für eine Arbeit von A kgm eine Wärmemenge von $\frac{A}{427}$ kcal.

Allgemein:

$$\boxed{Q = \frac{A}{J} \text{ kcal}}$$

Ist umgekehrt nach der Arbeit gefragt, die man aus Q kcal gewinnen kann, so hat man folgende Überlegung anzustellen:

1 kcal ergibt 427 kgm,
Q kcal ergeben $Q \cdot 427$ kgm,

also ist, durch eine Formel ausgedrückt, die Arbeit A, die sich aus Q kcal erzeugen läßt

$$\boxed{A = Q \cdot J \text{ kgm}}$$

1. **Beispiel**: Welche Wärmemenge muß aufgewendet werden, um eine Arbeit von 60000 kgm zu verrichten?

Lösung: $Q = \frac{A}{J} = \frac{60000}{427} \approx 141$ kcal

2. **Beispiel**: Wieviel Arbeit kann man aus 1200 kcal gewinnen?
Lösung: $A = Q \cdot J = 1200 \cdot 427 = 512400$ kgm.

Wird 1 kW eine Stunde lang von einer Maschine geleistet, so nennt man die dadurch verrichtete Arbeit eine Kilowattstunde (kWh). Ebenso spricht man von einer PS-Stunde (PSh).

Nun ist 1 kWh $\approx$ 367000 kgm (= $102 \cdot 60 \cdot 60$) und
1 PSh = 270000 kgm (= $75 \cdot 60 \cdot 60$)

Damit ergibt sich der Wärmeaufwand für die kWh und die PSh wie folgt:

$$Q = \frac{A}{J} = \frac{367000}{427} \approx 860 \text{ kcal}$$

$$\boxed{1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}}$$

$$Q = \frac{A}{J} = \frac{270000}{427} \approx 632 \text{ kcal}$$

$$\boxed{1 \text{ PSh} = 632 \text{ kcal}}$$

Beträgt nun die Leistung einer Maschine N PS, so ist der Wärmeaufwand in der Stunde

$$\underline{Q = N \cdot 632 \text{ kcal}}$$

Ist die Leistung N kW, so verbraucht die Maschine stündlich

$$\underline{Q = N \cdot 860 \text{ kcal}}$$

1. Beispiel: Ein Motor leistet 20 PS. Wie groß ist der Wärmeverbrauch je Stunde?

Lösung: $Q = N \cdot 632 = 20 \cdot 632 = 12640$ kcal

2. Beispiel: Die Kühlwassermenge eines Lagers beträgt 80 l (= 80 kg) pro Stunde.
Das Wasser wird dabei von 17° C auf 40° C erwärmt. Wieviel PS gehen durch die Lagerreibung verloren?

Lösung: Die durch das Kühlwasser abgeführte Wärmemenge beträgt:

$$Q = G \cdot (t_2 - t_1) = 80 \cdot (40 - 17) = 80 \cdot 23 = 1840 \text{ kcal}$$

Nun ist $Q = N \cdot 632$, daraus ergibt sich:

$$N \cdot 632 = Q, \quad \frac{N \cdot 632}{632} = \frac{Q}{632}, \quad N = \frac{Q}{632}, \quad N = \frac{1840}{632} \approx 2{,}9 \text{ PS}$$

In Wirklichkeit haben unsere Wärmekraftmaschinen infolge großer Wärmeverluste einen bedeutend höheren Wärmeverbrauch als 632 kcal für 1 PSh. Im Durchschnitt verbrauchen

Kolbendampfmaschinen etwa	4000 kcal je PSh,
Dampfturbinen etwa	3000 kcal je PSh,
Dieselmaschinen etwa	2000 kcal je PSh.

Mit diesen Zahlen ergibt sich eine Ausnutzung der Brennstoffwärme

von 15,8% in Kolbendampfmaschinen,
von 21,7% in Dampfturbinen,
von 31,6% in Dieselmaschinen.

Diese Ausnutzung der Brennstoffwärme nennt man thermischen Wirkungsgrad. Wie sich aus den angeführten Zahlen ergibt, sind die Wärmeverluste in unseren Wärmekraftbetrieben sehr groß. Sie liegen hiernach auch in gut gebauten und wirtschaftlich gut geführten Anlagen etwa zwischen 70 und 85% der aufgewendeten Brennstoffwärme.

Übungsaufgaben

10) Beim Abbremsen einer Dampfmaschine wurde die Bremsscheibe mit Wasser von 14° C gekühlt, das sich im Mittel auf 52° C erwärmt. Bei einem dreistündigen Versuch wurden 3960 kg Wasser verbraucht. Wie groß ist die je Stunde vom Wasser aufgenommene Wärmemenge?
11) Die Antriebsmaschine eines Kranes leistet 33 PS. Welche Wärmemenge muß aufgewendet werden, wenn der Kran 8 Stunden arbeitet und 85% der aufgewendeten Brennstoffwärme verlorengehen?

Der Wirkungsgrad

Wenn wir in einem Pumpspeicherwerk 25000 m³ in 10 Stunden auf eine Höhe von 42 m pumpen wollen, so ist die Leistung der Antriebsmaschine nach der bekannten Formel für die Leistung:

$$N = \frac{P \cdot s}{t \cdot 75} = \frac{25000000 \cdot 42}{60 \cdot 60 \cdot 10 \cdot 75} = \frac{7000}{18} \approx 389\,\text{PS}$$

Würde eine Maschine dieser Leistung eingebaut, so würde die geforderte Wassermenge von 25000 m³ in 10 Stunden nicht gehoben werden. Dabei ist unsere Lösung rechnerisch einwandfrei. Aber die Maschinenleistung muß in Wirklichkeit größer sein. Es ist nicht beachtet, daß das Wasser sich an den Wänden der Rohre reibt und daß in den Zahnrädergetrieben und in den Maschinenlagern Reibungswiderstände überwunden werden müssen. Dazu aber ist eine zusätzliche Arbeit nötig. Wir kommen zu derselben Überlegung bei anderen Beispielen aus der Technik. Wenn Sie an der Lokomotive eines fahrbereiten Zuges entlanggehen, so spüren Sie deutlich eine erhebliche Wärmeabstrahlung. Bei einem Elektromotor sind nach längerem Betrieb Gehäuse und Wicklung stark erwärmt. Auch diese Wärme entweicht in die umgebende Luft. Es wird ein Teil der Energie, die wir in die Maschinen hineinschicken, nicht in nutzbare Arbeit umgesetzt, sondern ein Teil der zugeführten Energie geht für die gestellte Aufgabe verloren. Im Pumpspeicherwerk wird ein Teil der Leistung verbraucht, um Reibung zu überwinden. Ein Teil der Kohle, die der Heizer in den Kessel der Lokomotive wirft, entweicht als Wärme in die Umgebung. Im Elektromotor wird ebenso ein Teil der zugeführten Energie in Wärme umgesetzt. In all unseren Maschinen treten Verluste auf. Diese Verluste müssen durch zusätzlich zugeführte Energie ersetzt werden. Deshalb ist die zugeführte Leistung immer größer als die abgegebene. Wenn wir die abgegebene Leistung mit der zugeführten Leistung vergleichen, indem wir die erste durch die zweite teilen, so finden wir eine Zahl, die man Wirkungsgrad nennt. Diese Zahl ist immer kleiner als 1.

Ein 1-PS-Gleichstrommotor hat einen Wirkungsgrad von etwa 0,74, ein 10-PS-Motor von 0,84. Der Wirkungsgrad für elektrische Maschinen ist nur der Vergleich zwischen der in die Maschine hineingeschickten elektrischen Leistung mit der an der Riemenscheibe abgegebenen mechanischen Leistung. Die bei der Erzeugung der Elektrizität und bei der Zuleitung auftretenden Verluste sind nicht erfaßt. Ein Transformator besitzt einen Wirkungsgrad von 0,90, große Transformatoren von 0,98. Bei losen Rollen rechnet man mit einem Wirkungsgrad von 0,95 je Rolle. Eine Dampfmaschine besitzt einen Wirkungsgrad von 0,13 bis 0,18. In dieser Zahl sind auch die Verluste in der Kesselanlage enthalten. Dieselmaschinen haben einen erheblich besseren Wirkungsgrad als Dampfmaschinen, weil durch die Verbrennung des Brennstoffes innerhalb der Maschine statt in einer besonderen Kesselanlage die Verluste wesentlich kleiner bleiben. Der Wirkungsgrad für Dieselmaschinen beträgt zwischen 0,28 und 0,35.

Wenn wir aus angegebener und zugeführter Leistung den Wirkungsgrad errechnen, so gilt:

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{\text{abgegebene Leistung}}{\text{zugeführte Leistung}}$$

Für Wirkungsgrad gebraucht man das Formelzeichen η (eta)

$$\eta = \frac{N_{\text{abgegeben}}}{N_{\text{zugeführt}}} = \frac{N_{ab}}{N_{zu}}$$

Beispiel: Ein Drehstrommotor nimmt 11,76 kW aus dem Netz auf, an seiner Riemenscheibe werden 10 kW abgegeben. Wie groß ist sein Wirkungsgrad?

Lösung: $$\eta = \frac{N_{ab}}{N_{zu}} = \frac{10\ \text{kW}}{11{,}76\ \text{kW}} = 0{,}85$$

Der Wirkungsgrad des Drehstrommotors ist **0,85.**

Übungsaufgaben

12) Ein Kran wurde für die Höchstlast von 10 t gebaut. Er kann diese Last in 25 s 4 m hoch heben. Der Hubmotor leistet 28 PS. Wie groß ist der Wirkungsgrad der Krananlage?

13) Ein 10-PS-Motor nimmt bei Vollast 9 kW auf, bei Halblast, also bei einer Leistung von 5 PS, 4,9 kW. Wie groß sind die Wirkungsgrade der beiden Belastungsfälle?

Von der Ausdehnung der Körper durch die Wärme

Beim Berühren eines Körpers hat man ein Empfinden dafür, ob der Körper kalt, lauwarm, warm oder heiß ist. Unser Gefühl ist jedoch zu unzuverlässig, um über den Wärmegrad oder die Temperatur etwas Bestimmtes aussagen zu können. Wir empfinden einen Körper manchmal als warm und ein anderes Mal als kalt. Haben wir z. B. drei Gefäße mit kaltem, lauwarmem und heißem Wasser vor uns, halten zunächst die eine Hand in das kalte und die andere in das warme Wasser und sodann beide Hände in das lauwarme Wasser, so empfinden wir mit der einen Hand das Wasser als warm, mit der anderen dagegen dasselbe Wasser als kalt. Betritt man einen Keller im Sommer, so kommt einem die Kellerluft kühl vor. Beim Betreten des Kellers im Winter aber hat man das Gefühl, daß der Keller warm ist. Und doch ist die Temperatur des Kellers im Winter ohne Zweifel niedriger als im Sommer.

Will man die Temperatur eines Körpers bestimmen, so benutzt man hierzu ein sicheres Mittel, das Thermometer. Die meisten Thermometer beruhen auf einem Naturgesetz, das wir an einer Reihe von Erscheinungen in der Technik beobachten können. Das Gesetz lautet: Alle Körper dehnen sich bei Erwärmung aus und ziehen sich bei Abkühlung zusammen (Ausnahmen gibt es nur wenige; z. B. Graphit bleibt fast

unverändert, Kautschuk zieht sich bei Erwärmung zusammen, desgleichen Wasser, wenn es von 0° auf +4° C erwärmt wird). Das Gesetz gilt für feste, flüssige und gasförmige Körper.

Einige Beispiele und Anwendungen aus der Technik: Das Quecksilber oder der gefärbte Weingeist des Thermometers steigen bei Erwärmung, d. h. Temperaturerhöhung, in der Röhre hoch. Der Rauminhalt der beiden Stoffe nimmt zu, und jeder Temperatur entspricht eine bestimmte Länge des Fadens in der Röhre. — Der Reifen eines Rades wird vom Schmied erwärmt, damit er sich über das Rad ziehen läßt. Beim Erkalten zieht er sich wieder zusammen und liegt nun fest auf. — Denselben Vorgang sehen wir bei der Verbindung von Maschinenteilen durch Schrumpfringe. Man kann Maschinenteile auch dadurch zusammenschrumpfen, daß man den inneren Körper, z. B. einen Bolzen, zuerst abkühlt und ihn dann einlegt. Bei Wiedererwärmung auf gewöhnliche Temperatur preßt er sich dann fest an den äußeren Teil an. — Am Ballon wird eine Art Sicherheitsventil angebracht, damit bei Einwirkung von Sonnenstrahlung das eingeschlossene Gas durch seine Ausdehnung nicht die Hülle zerreißt. — Eisenbahnschienen werden mit Spielraum verlegt, damit sie sich im Sommer bei erhöhter Temperatur nicht werfen. Im Erdboden liegende Straßenbahnschienen dagegen, die ihre Temperatur nur wenig ändern, können zu langen Strecken zusammengeschweißt werden. — Leitungsdrähte werden mit Durchhang gespannt, damit sie im Winter bei niedriger Temperatur nicht reißen. Man bemerkt an ihnen an heißen Sommertagen einen stärkeren Durchhang als bei kaltem Wetter. Ihre Länge wächst also mit zunehmender Temperatur. — Die Decken der Reichsautobahnen werden mit Ausdehnungsfugen versehen, weil sie sich sonst werfen würden. — Dampfleitungen, die hohen Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, haben federnde Ausdehnungsschleifen. — Eiserne Brückenträger und Dachbinder haben nur an einer Seite ein festes Auflager, am anderen Ende liegen sie auf Rollenlagern. — Bei der Einmauerung von Dampfkesseln hat man auf die Ausdehnung des Kessels bei den auftretenden hohen Temperaturen Rücksicht zu nehmen. — Aus der Gießereitechnik ist Ihnen bekannt, daß der Modelltischler mit dem Schwindmaßstab arbeitet. Das Modell muß etwas größer hergestellt werden als das Werkstück sein soll, weil sich die Gußstücke beim Abkühlen zusammenziehen.

Die Ausdehnung ist bei den einzelnen Stoffen bei gleicher Erwärmung verschieden groß. Durch Versuche sind für die in der Technik wichtigen Stoffe die Ausdehnungszahlen festgestellt und in Form von Tabellen in technischen Handbüchern zusammengestellt. Man unterscheidet die Längenausdehnungszahl und die Raumausdehnungszahl, je nachdem, ob die Längenzunahme oder die Raumvergrößerung für uns von Wichtigkeit ist.

Die Längenausdehnungszahl ist die Zahl, die angibt, um welche Länge (in m) sich ein Stab von 1 m Länge bei der Temperaturerhöhung um 1° C ausdehnt. Man bezeichnet sie mit α.

Ist z. B. für Stahl $\alpha = 0{,}000012$, so heißt das:

Ein Stahlstab von 1 m Länge dehnt sich bei Erwärmung um 1° C um 0,000012 m = 0,012 mm aus.

Die Verlängerung eines Körpers von 1 m Länge beträgt also allgemein bei Erwärmung um 1° C α m. Wird er von t_1 auf t_2 oder um den Temperaturunterschied t erwärmt, so dehnt er sich in seiner Länge um $\alpha \cdot t$ m aus. Beträgt seine Länge l_1 m, so ist seine Verlängerung gleich $l_1 \cdot \alpha \cdot t$ m. Die Verlängerung bezeichnen wir mit λ, dem griechischen Buchstaben für l (gesprochen: lambda). Dann ergibt sich:

Verlängerung $\boxed{\lambda = l_1 \cdot \alpha \cdot t}$

Somit ist die

Gesamtlänge nach der Erwärmung um t° C

$$\boxed{l_2 = l_1 + l_1 \cdot \alpha \cdot t}$$

Da sich ein Körper bei Abkühlung zusammenzieht, so ergibt sich bei einer Länge von l_1 m und einer Abkühlung von t° C eine Verkürzung von $l_1 \cdot \alpha \cdot t$ m. Damit wird die

Gesamtlänge nach der Abkühlung

$$\boxed{l_2 = l_1 - l_1 \cdot \alpha \cdot t}$$

Beispiel: Ein Eisenbahngleis besteht aus Schienen von 15 m Länge. Es soll berechnet werden, wie groß die Zwischenräume zwischen den einzelnen Schienen zu machen sind, wenn das Gleis bei 10° C verlegt wird und als höchste Sommertemperatur 45° C angenommen wird ($a = 0{,}000012$).

Rechnungsgang: Bei der Erwärmung von $t_1 = 10°$ auf $t_2 = 45°$ C um $t = 35°$ C dehnt sich die Schiene von $l_1 = 15$ m Länge um $\lambda = l_1 \cdot \alpha \cdot t$ m aus. Dies ist die Verlängerung, die die Schiene bei der höchsten Sommertemperatur erfahren kann und daher das Maß für die Zwischenräume.

Lösung:

$$\begin{aligned} \lambda &= l_1 \cdot \alpha \cdot t \\ &= 15 \cdot 0{,}000012 \cdot (45 - 10) \\ &= 15 \cdot 0{,}000012 \cdot 35 \\ &= 0{,}0063 \text{ m} \\ &= 6{,}3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Die Eisenbahnschienen sind mit **6,3 mm** Zwischenraum zu verlegen.

Übungsaufgaben

14) Durch ein Dampfleitungsrohr strömt Heißdampf von 350° C. Um wieviel dehnt sich das Dampfrohr aus, wenn es bei 20° C eine Länge von 25 m hat? ($\alpha = 0{,}000012$.)

15) Zwischen zwei Masten einer Hochspannungsleitung beträgt die Länge der Leitungsdrähte aus Aluminium 110 m bei 20° C. Wie lang sind die Drähte bei —30° C und bei +35° C? (Für Aluminium ist $\alpha = 0{,}000024$.)

Von der Raumausdehnung der Körper durch die Wärme

Bei festen Körpern ist für uns besonders die Längenausdehnung von Wichtigkeit. Bei Flüssigkeiten und Gasen interessiert uns die räumliche Ausdehnung. Darum finden wir in den Tabellen der technischen Hand- und Lehrbücher für feste Körper die Längenausdehnungszahlen angegeben, für Flüssigkeiten jedoch die Raumausdehnungszahlen. Die Raumausdehnungszahl ist der Rauminhalt, um den sich 1 m³ eines Stoffes bei der Erwärmung um 1° C ausdehnt. Sie wird mit γ bezeichnet. Kennt man, wie bei festen Körpern, die Längenausdehnungszahl α, so kann man sie mit hinreichender Genauigkeit dadurch errechnen, daß man α mit 3 malnimmt, also

$$\boxed{\gamma = 3\alpha}$$

Ist z. B. für Kupfer $\alpha = 0{,}0000165$, so ist $\gamma = 3 \cdot 0{,}0000165 = 0{,}0000495$.

Hat nun ein Körper den Rauminhalt von 1 m³ und wird er um 1° C erwärmt, so nimmt sein Rauminhalt um γ m³ zu. Wird er um t° C in der Temperatur erhöht, so beträgt seine Raumvergrößerung $\gamma \cdot t$ m³; hat er einen Inhalt von V_1 m³, so beträgt seine Volumenzunahme $V_1 \cdot \gamma \cdot t$ m³.

Der Rauminhalt des Körpers beträgt also nach der Erwärmung um t° C

$$\boxed{V_2 = V_1 + V_1 \cdot \gamma \cdot t} \quad \text{(in m}^3\text{)}$$

Bei einer Abkühlung um t° C erfährt er eine Verkleinerung seines Rauminhaltes um denselben Betrag, und sein Volumen nach der Abkühlung ist

$$\boxed{V_2 = V_1 - V_1 \cdot \gamma \cdot t} \quad \text{(in m}^3\text{)}$$

Ist der ursprüngliche Rauminhalt in einer anderen Maßeinheit angegeben, z. B. in l, so kann man diese Maßeinheit in die Formeln einsetzen und erhält das Ergebnis in l.

Bei Hohlkörpern, z. B. Gefäßen, Dampfkesseln und Dampfzylindern, ist die Raumausdehnung genau so groß, als wenn der Hohlraum aus demselben Stoff bestehen würde wie das Gefäß.

Beispiel: Ein Dampfkessel hat bei 18° C einen Rauminhalt von 10,7 m³. Wie groß ist sein Rauminhalt bei 220° C? (Für Flußstahl ist $\alpha = 0{,}000012$.)

Rechnungsgang: Die Raumausdehnungszahl γ ergibt sich aus α dadurch, daß man α mit 3 malnimmt. Der Temperaturunterschied beträgt $t = 200 - 18 = 182$° C. Die Zunahme des Rauminhalts, die gleich $V_1 \cdot \gamma \cdot t$ ist, hat man zu dem ursprünglichen Rauminhalt hinzuzuzählen.

Lösung:

Raumausdehnungszahl: $\gamma = 3\,\alpha = 3 \cdot 0{,}000012 = 0{,}000036$

Rauminhalt bei 18° C: $V_1 = 10{,}70$ m³

Rauminhaltszunahme: $V_1 \cdot \gamma \cdot t = 10{,}7 \cdot 0{,}000036 \cdot (200 - 18)$
$= 10{,}7 \cdot 0{,}000036 \cdot 182 = 0{,}07$ m³

Rauminhalt bei 200° C: $V_2 = V_1 + V_1 \cdot \gamma \cdot t = 10{,}7 + 0{,}07 = 10{,}77$ m³

Der Rauminhalt des Dampfkessels beträgt bei 200° C **10,77 m³**.

Bei Flüssigkeiten ist die Ausdehnung bedeutend größer als bei festen Körpern. Auch erfolgt sie meistens nicht genau gleichmäßig mit der Temperatursteigerung, sondern wird um so größer, je mehr die Temperatur sich dem Siedepunkt der Flüssigkeit nähert. Jedoch ist sie bei den meisten Flüssigkeiten innerhalb eines nicht zu weiten Temperaturbereichs und genügend weit vom Siedepunkt entfernt nahezu gleichmäßig. Eine sehr gleichmäßige Ausdehnung zeigt das Quecksilber. Sehr ungleichmäßig dehnt sich das Wasser aus. Die Ausdehnung erfolgt mit zunehmender Temperatur von Grad zu Grad immer schneller, und außerdem zieht es sich bei Erwärmung von 0° auf 4° C zusammen. Erst bei Erwärmung über 4° C hinaus nimmt sein Rauminhalt in der oben angegebenen Weise ungleichmäßig zu.

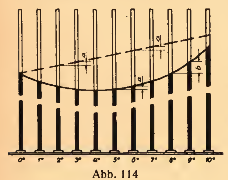


Abb. 114

Dies wird durch Abb. 114 veranschaulicht. Die gestrichelte Linie zeigt, wie sich ein fester Körper, z. B. ein Metall, ausdehnen würde. Dieselbe gleichmäßige Art der Ausdehnung würden wir auch beim Quecksilber finden. Der Rauminhalt wächst von Grad zu Grad immer um das gleiche Stück *a*, während beim Wasser der Zuwachs *b* größer als der Zuwachs *a* ist.

Übungsaufgaben

16) Es werden 5000 *l* Benzol bei 5° C abgefüllt. Wie groß ist der Rauminhalt dieser Menge bei 32° C? ($\gamma = 0{,}00124$).
17) 4200 *l* Petroleum werden bei 28° C abgefüllt. Um wieviel kleiner wird der Rauminhalt, wenn das Petroleum sich auf 2° C abkühlt? ($\gamma = 0{,}00092$).

Von der Ausdehnung der Gase durch die Wärme

Die Raumausdehnungszahl der Gase ist bedeutend größer als die der festen Körper und der Flüssigkeiten. Sie ist für alle Gase gleich und beträgt $0{,}00366 = \frac{1}{273}$. Während jedoch bei festen Körpern und Flüssigkeiten der jeweilige Rauminhalt V_1 bei der Temperatur t_1 zugrunde gelegt wird, haben wir bei Gasen von dem Rauminhalt auszugehen, den sie bei 0° C einnehmen. Diesen nennen wir V_0. Alle Gase dehnen sich also bei Erwärmung um 1° C um den 273. Teil des Rauminhaltes V_0 aus (also n i c h t des jeweiligen Rauminhaltes bei der Temperatur t_1).

Der Rauminhalt eines Gases hängt nun bekanntlich von dem Druck ab, unter dem es steht; denn man kann Gase verdichten (Beispiel:

Luftpumpe). Sollen daher Rauminhalte eines Gases bei verschiedenen Temperaturen miteinander verglichen werden, so muß vorausgesetzt werden, daß der Druck gleich bleibt (Abb. 115).

Erwärmt man 1 m³ Gas, z. B. Luft, Kohlensäure oder Sauerstoff bei gleichbleibendem Druck von 0° C auf $t_1 = 10°$ C, so wird sein Volumen um $V_0 \cdot \gamma \cdot t_1 = 1 \cdot \frac{1}{273} \cdot 10 = \frac{10}{273}$ m³ größer. Der Gesamtrauminhalt beträgt also bei $t_1 = 10°$ C: $V_1 = V_0 + V_0 \cdot \gamma \cdot t_1$ m³ $= 1\frac{10}{273}$ m³. Bei Abkühlung von 0° C auf —10° C wird der Rauminhalt um denselben Betrag kleiner. Würde das Gas von 0° C auf die Temperatur —273° C abgekühlt, würde theoretisch 1 m³ um $\frac{273}{273} = 1$ m³ abnehmen, d. h. der Rauminhalt würde $= 1 - 1 = 0$ m³ sein, das Gas würde keinen Rauminhalt mehr haben. (In Wirklichkeit tritt jedoch vorher eine Verflüssigung des Gases ein; bekannt ist z. B. flüssige Luft.) Diese Temperatur von —273° C nennen wir den absoluten Nullpunkt der Temperatur.

Rechnet man nun die Temperatur nicht, wie wir es gewohnt sind, vom Gefrierpunkt des Wassers, sondern von diesem absoluten Nullpunkt (—273° C) an, so nennt man diese Temperatur die „absolute Temperatur". Dann ist —273° C = 0° abs. und 0° C = 273° abs. (Abb. 116).

Man bezeichnet die absolute Temperatur mit T. Sie ergibt sich aus t dadurch, daß man zu t die Zahl 273 hinzuzählt, also

$$T = t + 273$$

Beispiel: $t = 50°$ C; $T = t + 273 = 50 + 273 = 323°$ abs.

Abb. 115

Abb. 116

Der Rauminhalt eines Gases V_1 bei der Temperatur t_1 läßt sich nach der bekannten Weise berechnen, wenn man sein Volumen V_0 bei 0° C kennt. Es ist $V_1 = V_0 + V_0 \cdot \gamma \cdot t_1$ (t_1 = Temperaturunterschied zwischen 0° und t_1° C). Durch Ausklammern von V_0 ergibt sich: $V_1 = V_0 (1 + \gamma \cdot t_1)$.

Da $\gamma = \frac{1}{273}$ ist, so ist

$$V_1 = V_0\left(1 + \frac{t_1}{273}\right) \quad \text{(Gleichung 1)}$$

Für 1 kann man den gleichen Wert $\frac{273}{273}$ setzen und erhält

$$V_1 = V_0\left(\frac{273}{273} + \frac{t_1}{273}\right)$$

Der Wert in der Klammer ist eine Summe aus zwei gleichnamigen Brüchen. Gleichnamige Brüche werden bekanntlich zusammengezählt,

indem man die Zähler zusammenzählt und die Summe durch den gemeinsamen Nenner teilt. Also ist

$$\frac{273}{273} + \frac{t_1}{273} = \frac{273 + t_1}{273} = \frac{T_1}{273}$$

($273 + t_1$ ist gleich der absoluten Temperatur T_1).

Die Gleichung 1 läßt sich daher auch schreiben in der Form

$$V_1 = V_0 \cdot \frac{T_1}{273} \quad \text{oder} \quad V_1 = \frac{V_0}{273} \cdot T_1 \qquad \text{(Gleichung 2)}$$

Genau so ergibt sich der Rauminhalt V_2 bei der Temperatur t_2 (oder der absoluten Temperatur T_2) zu:

$$V_2 = \frac{V_0}{273} \cdot T_2 \qquad \text{(Gleichung 3)}$$

Nun darf man beide Seiten einer Gleichung durch den gleichen Wert teilen. Wir teilen daher die linke Seite der Gleichung 2 durch V_2 und die rechte Seite durch den der Größe V_2 gleichen Wert $\frac{V_0}{273} \cdot T_2$ (s. Gleichung 3), dann ergibt sich

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\frac{V_0}{273} \cdot T_1}{\frac{V_0}{273} \cdot T_2}$$

oder

$$\boxed{\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}}$$

In Worten: Bei der Änderung der Temperatur eines Gases bei gleichbleibendem Druck verhalten sich die Rauminhalte wie die absoluten Temperaturen (Gesetz von Gay-Lussac).

Übungsaufgaben

18) Folgende Temperaturen sind in absolute Temperaturen umzurechnen:
a) $t = +357°$ C; b) $t = -78{,}5°$ C; c) $t = +1372°$ C; d) $t = -183°$ C.

19) In der Windleitung des Winderhitzers eines Hochofens werden stündlich 42000 m³ Luft von 17° C auf 800° C erwärmt. Wie groß ist der Rauminhalt der von dem Winderhitzer stündlich gelieferten erhitzten Luft?

Vom Luftdruck

Die Erde ist von einer Luftschicht umgeben, deren Höhe mindestens 100 km beträgt. Wie alle anderen Körper wird auch die Luft von der Erde angezogen und übt durch ihr Gewicht infolgedessen auf die Erdoberfläche einen Druck aus. Diesen Druck nennt man den Luftdruck. Er wirkt von allen Seiten auf die Körper ein und sinkt mit zunehmender Höhe. Wenn wir uns nämlich die gesamte Luftschicht in waagerechte Schichten zerlegt

denken, so drücken infolge der Anziehungskraft der Erde die höher gelegenen Schichten auf alle darunterliegenden. Die Luft wird also um so mehr zusammengedrückt, je näher sie der Erdoberfläche liegt. Hier ist daher der Luftdruck am größten.

Das Vorhandensein des Luftdrucks und seine Wirkung nach allen Seiten (z. B. auch von unten nach oben) erkennen wir durch folgenden Versuch:

Ein Zylinder wird mit Wasser gefüllt. Dann legt man ein Stück Papier darauf und kehrt das Glas um, so daß es mit der abgedeckten Öffnung nach unten zeigt (Abb. 117). Das Wasser fließt nach dem Wegnehmen der Hand nicht aus. Denn der von unten wirkende Luftdruck ist größer als das Gewicht des Wassers und verhindert daher das Ausfließen. Er hält der Wassersäule das Gleichgewicht. Erst wenn die Wassersäule so lang würde, daß ihr Gewicht größer ist als der Luftdruck, würde das Wasser ausfließen.

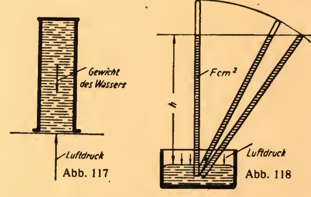


Abb. 117 Abb. 118

Über die zahlenmäßige Größe des Luftdrucks gibt uns der folgende Versuch Aufschluß, der zuerst von dem italienischen Forscher Torricelli ausgeführt wurde (daher auch Torricellischer Versuch genannt). Man nimmt eine etwa 1 m lange Glasröhre, die an dem einen Ende geschlossen ist und füllt sie bis oben vollständig mit Quecksilber. Dann verschließt man die Öffnung mit dem Finger und taucht sie nach dem Umkehren der Röhre in ein Gefäß, das ebenfalls mit Quecksilber gefüllt ist. Finger und Öffnung müssen von dem Quecksilber der Schale bedeckt sein. Nun nimmt man den Finger von der Öffnung fort und sieht, daß das Quecksilber in der Röhre nur wenig sinkt (Abb. 118). Führt man den Versuch in der Höhe des Meeresspiegels bei einem mittleren Luftdruck aus (der Luftdruck ist auch an demselben Orte nicht immer gleich), so mißt man zwischen den beiden Quecksilberspiegeln im Gefäß und in der Röhre einen Höhenunterschied von $h = 76$ cm $= 760$ mm. Über dem Quecksilber in der Röhre hat sich ein luftleerer Raum gebildet. Das ergibt sich daraus, daß beim Neigen der Röhre das Quecksilber die ganze Röhre wieder ausfüllt. Wäre Luft in der Röhre, so müßte die Luft einen Raum einnehmen. Der

Luftdruck, der sich bei allseitiger Einwirkung auf die Körper nicht bemerkbar macht, tritt hier, wo wir auf der einen Seite der Quecksilbersäule einen luftleeren Raum haben, deutlich in seiner Wirkung zutage. Er hält der Quecksilbersäule das Gleichgewicht. Würde jedoch die Röhre oben eine Öffnung haben, so daß auch hier der Luftdruck wirken könnte, würde das Quecksilber bis zum Spiegel in dem äußeren Gefäß herabsinken. Eine Luftsäule von demselben Querschnitt F, den die Röhre hat, ist demnach genau so schwer wie die Quecksilbersäule in der Röhre. Deren Gewicht können wir berechnen. Das Gewicht eines Körpers ist gleich Rauminhalt V mal Wichte γ. Der Rauminhalt ist aber gleich Querschnitt F mal Höhe h. Also

$$G = V \cdot \gamma = F \cdot h \cdot \gamma$$

$F \cdot h \cdot \gamma$ ist demnach gleich dem Luftdruck auf F cm²

Machen wir den Versuch mit anderen Röhren, deren Querschnitt größer oder kleiner als F ist, so ergibt sich immer dieselbe Höhe der Quecksilbersäule $h = 76$ cm. Der Querschnitt spielt also keine Rolle für das Ergebnis, vorausgesetzt, daß die Röhre nicht so eng ist, daß die Haarröhrchenerscheinung wirksam wird. Suchen wir nun den Luftdruck auf 1 cm², so haben wir das Gewicht einer Quecksilbersäule von 1 cm² Querschnitt und 76 cm Länge zu berechnen. Deren Rauminhalt ist $V = F \cdot h = 1 \cdot 76 = 76$ cm³. Die Wichte des Quecksilbers ist $\gamma = 13{,}59$; 1 cm³ Quecksilber wiegt also 13,59 g. Folglich wiegen 76 cm³ $76 \cdot 13{,}59 = 1033$ g $= 1{,}033$ kg.

Der normale Luftdruck auf 1 cm² Fläche beträgt also in der Höhe des Meerspiegels 1,033 kg/cm². Dieser Druck ist gleichbedeutend mit der gemessenen Höhe $h = 760$ mm Quecksilbersäule (mm QS).

Es ist also der Druck von 1,033 kg/cm² = 760 mm QS, daraus ergibt sich

$$1\ \text{kg/cm}^2 = \frac{760}{1{,}033}\ \text{mm QS}\ \ (1\ \text{kg/cm}^2 = 1\ \text{at})$$

$$\boxed{1\ \text{at} = 1\ \text{kg/cm}^2 \approx 735{,}5\ \text{mm QS}}$$

Diese Gleichung gibt uns die Möglichkeit, den Luftdruck, der in mm QS gemessen wird, in at oder kg/cm² umzurechnen und umgekehrt.

1. **Beispiel:** Wieviel kg/cm² sind 680 mm QS?

Lösung:

$$735{,}5\ \text{mm QS} = 1\ \text{kg/cm}^2$$

$$1\ \text{mm QS} = \frac{1}{735{,}5}\ \text{kg/cm}^2$$

$$680\ \text{mm QS} = \frac{680}{735{,}5} = 0{,}925\ \text{kg/cm}^2$$

2. **Beispiel:** Wieviel mm QS sind 1,1 at?

Lösung:

$$1\ \text{at} = 735{,}5\ \text{mm QS}$$

$$1{,}1\ \text{at} = 1{,}1 \cdot 735{,}5 = 809\ \text{mm QS}$$

Da der Luftdruck mit zunehmender Höhe abnimmt, so ist auch der normale Luftdruck an höher gelegenen Orten, z. B. auf einem Berge, geringer als in Höhe

des Meeresspiegels. So beträgt er beispielsweise auf dem Brocken (1142 m) 659 mm QS, auf dem Großglockner, dem höchsten Berge Großdeutschlands (3800 m), nur 473 mm QS.

Der Luftdruck ist unter anderem von Bedeutung für die Wirkungsweise der Saugpumpe und des Hebers, bei Leistungsversuchen an Kraftmaschinen, bei der Höhenmessung in Flugzeugen und für die Wetterkunde.

Übungsaufgaben

20) Wie hoch ist der Luftdruck in mm QS, wenn er 0,74 kg/cm² beträgt?
21) Wie groß ist der Luftdruck in kg/cm², wenn er zu 620 mm QS gemessen wurde?
22) Wie groß ist der Gesamtdruck der Luft auf eine Fläche von 2,4 m², wenn der Luftdruck 690 mm QS beträgt?

Überdruck, Unterdruck, absoluter Druck

Der Druck von Dämpfen und Gasen in einem geschlossenen Gefäß, z. B. im Dampfkessel oder in einer Sauerstoffflasche, wird am Manometer in kg/cm² abgelesen. Bei offenem Kessel steht der Zeiger des Manometers auf 0. Erst wenn sich bei geschlossenem Kessel Dampf entwickelt, fängt der Zeiger an zu steigen. Wir wissen nun aber, daß auch in dem offenen Kessel schon ein Druck, nämlich der Luftdruck, wirkt. Hieraus erkennen wir, daß mit dem Manometer nicht der Gesamtdruck gemessen wird, sondern nur der Betrag, um den der Druck des Dampfes oder des Gases den herrschenden Luftdruck übersteigt. Diesen Druck nennen wir den Überdruck. Um anzudeuten, daß wir es mit einem Überdruck zu tun haben, schreiben wir nicht at, sondern atü und bezeichnen ihn mit $p_ü$, z. B.: eine Wasserstoffflasche steht unter einem Überdruck von $p_ü = 120$ atü. Der Gesamtdruck ergibt sich nach dem Vorhergehenden aus dem gemessenen Überdruck dadurch, daß man zu diesem angezeigten Überdruck den herrschenden Luftdruck hinzuzählt. Man nennt ihn den absoluten Druck und bezeichnet ihn mit p_a. Um zum Ausdruck zu bringen, daß es sich um den absoluten Druck handelt, schreibt man als Maßeinheit ata, z. B.: der absolute Druck im Kessel beträgt $p_a = 16$ ata. Bezeichnen wir den jeweils herrschenden Luftdruck mit b (Barometerstand), so ist

$$\boxed{p_a = b + p_ü} \quad \text{ata}$$

Zur Veranschaulichung diene Abb. 119. Die atmosphärische Linie, durch die der herrschende Luftdruck dargestellt werden soll, hat in der Abbildung von der absoluten Nullinie, die dem absoluten Druck 0 ata entspricht, den Abstand b. Ist der am Manometer abgelesene Druck $p_ü$ gleich der Strecke bc, dann ist der absolute Druck p_a gleich der Strecke $ac = b + p_ü$.

Beispiel: Das Manometer eines Dampfkessels zeigt 15,5 atü an. Der Luftdruck ist zu $h = 685$ mm QS gemessen. Wie groß ist der absolute Druck im Kessel?
Rechnungsgang: Absoluter Druck $p_a = b + p_ü$. Um Luftdruck und Überdruck zusammenzählen zu können, muß man zunächst 685 mm QS in ata verwandeln.

Lösung: $735{,}5$ mm QS $= 1$ ata

$$1 \text{ mm QS} = \frac{1}{735{,}5} \text{ ata}$$

$$685 \text{ mm QS} = \frac{685}{735{,}5} = 0{,}93 \text{ ata}$$

$$p_a = 0{,}93 + 15{,}5 = 16{,}43 \text{ ata}$$

Merke: Der Luftdruck in mm QS wird mit h bezeichnet, der in ata umgerechnete mit b. Es ist $b = \frac{h}{735{,}5}$.

Im Kondensator einer Dampfkraftmaschinenanlage haben wir einen luftverdünnten Raum, ein Vakuum. Der Druck im Kondensator ist also kleiner als der Luftdruck. Er wird mit dem Vakuummeter gemessen. Wie

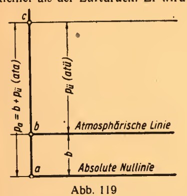


Abb. 119

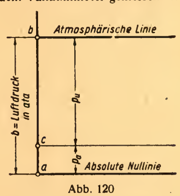


Abb. 120

das Manometer den Überdruck anzeigt, mißt das Vakuummeter den Druck unter der atmosphärischen Linie, den Unterdruck p_u in atu (Abb. 120).

Strecke $bc = p_u$ ist der abgelesene Unterdruck. Man erhält demnach den absoluten Druck p_a, indem man von dem Barometerstand b den Unterdruck p_u abzieht.

Es ist also $\boxed{p_a = b - p_u}$ ata

Beispiel: Das Vakuummeter eines Kondensators zeigt einen Überdruck von 0,84 atu an. Wie groß ist der absolute Druck im Kondensator, wenn das Barometer einen Luftdruck von a) 735,5; b) 785; c) 680 mm QS anzeigt?

Lösung: Es ist $p_a = b - p_u$.

Der Luftdruck ist $b = \frac{h}{735{,}5}$ ata.

Fall a)	Fall b)	Fall c)
$h = 735{,}5$ mm QS	$h = 785$ mm QS	$h = 680$ mm QS
$b = \frac{735{,}5}{735{,}5} = 1$ ata	$b = \frac{785}{735{,}5} = 1{,}07$ ata	$b = \frac{680}{735{,}5} = 0{,}925$ ata
$p_a = 1 - 0{,}84$	$p_a = 1{,}07 - 0{,}84$	$p_a = 0{,}925 - 0{,}84$
$= 0{,}16$ ata	$= 0{,}23$ ata	$= 0{,}085$ ata

Wie das Beispiel lehrt, ist trotz gleicher Vakuummeteranzeige der absolute Druck bei den verschiedenen Luftdrücken nicht gleich, sondern von dem jeweils herrschenden Luftdruck abhängig.

Kleine Über- und Unterdrucke werden auch in mm Wassersäule (mm WS) bzw. m WS gemessen. Für die Umrechnung gilt die Bezeichnung:

10 m WS = 10000 mm WS = 735,5 mm QS = 1 at.

Bei überschlägigen Rechnungen kann man häufig den Luftdruck mit 1 ata einsetzen.

Der absolute Druck findet u. a. Verwendung in den Dampftabellen und bei den Formeln für die Gasgesetze.

Übungsaufgaben

23) Ein Luftverdichter saugt Luft von 0,1 atu an und verdichtet sie auf 10,3 atü. Der Barometerstand beträgt 659 mm QS. Wie groß ist der absolute Druck vor und nach der Verdichtung?

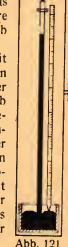
24) In einem Gefäß herrscht ein Überdruck von 140 mm WS bei einem Barometerstand von 690 mm QS. Wie groß ist der absolute Druck im Gefäß?

25) Bei einer Berechnung ergibt sich ein absoluter Druck von 8,35 ata. Wie groß ist dieser Druck bei einem Luftdruck von h = 780 mm QS in atü?

Von den Barometern

Um den Luftdruck zu messen, benutzt man Barometer. Wir unterscheiden zwei Arten: Quecksilberbarometer und Federkraftbarometer.

Das Quecksilberbarometer ist in seiner einfachsten Form als Gefäßbarometer ausgeführt (Abb. 121). Es besteht aus einer oben geschlossenen Glasröhre, die mit Quecksilber gefüllt ist. Das offene Ende steht in einem Gefäß mit Quecksilber. Der obere Teil der Röhre ist luftleer. Neben der Röhre ist ein Maßstab mit Millimeterteilung angebracht.


Abb. 121

Gefäß, Röhre und Maßstab sind auf einem Brett befestigt. Mit dem Maßstab mißt man den Unterschied zwischen den beiden Quecksilberspiegeln. Damit das untere Ende der Skala immer genau auf dem Quecksilberspiegel im Gefäß steht, ist der Maßstab durch eine Stellschraube verschiebbar angebracht. Das ist für genaue wissenschaftliche Ablesungen notwendig. Denn bei sinkendem Luftdruck fließt Quecksilber aus der Röhre in das Gefäß, der Spiegel steigt, wenn auch nur wenig, im Gefäß an. Bei steigendem Luftdruck sinkt der Spiegel im Gefäß entsprechend. Für Ablesungen, bei denen auf Meßgenauigkeit kein großer Wert gelegt wird, kann man auf die jedesmalige Einstellung oder die Verschiebbarkeit der Skala verzichten, da infolge des größeren Querschnittes des Gefäßes im Vergleich zu dem der Röhre der Fehler nur gering ist.

Eine zweite Art des Quecksilberbarometers ist das Heberbarometer (Abb. 122). Es besteht aus einer U-förmig gebogenen Glasröhre, die einen kurzen und einen langen Schenkel hat. Der lange Schenkel ist oben geschlossen, während der kurze offen ist. Infolge der Luftleere über dem Quecksilber im langen Schenkel steht das Quecksilber in den beiden Schenkeln verschieden hoch. Die Quecksilbersäule, die sich aus dem Höhenunterschied der beiden Spiegel ergibt, wird von dem Luftdruck, der auf den kurzen Schenkel wirkt, im Gleichgewicht gehalten. Vor jeder Ablesung muß der Maßstab mit der Nullstellung in die Höhe des unteren Spiegels gebracht werden. Will man das vermeiden, so genügt es, wenn man den kurzen Schenkel mit einem erweiterten birnenförmigen Ansatz versieht (Abb. 123). Der untere Spiegel bleibt dann infolge des größeren Querschnitts annähernd gleich hoch. Die Skala ist an einem solchen Instrument (Zimmerbarometer) fest angebracht. Für genaue Messungen ist diese Ausführung ungeeignet.

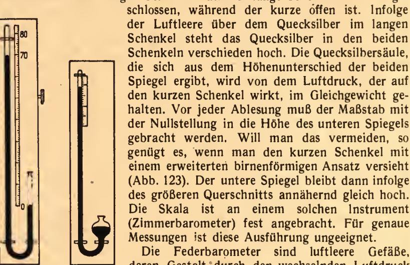


Abb. 122 Abb. 123

Die Federbarometer sind luftleere Gefäße, deren Gestalt durch den wechselnden Luftdruck verändert wird. Das am meisten verbreitete Barometer dieser Art besteht aus einer flachen Metalldose mit einem wellenförmig gebogenen Deckel aus dünnem Blech, der elastisch federt (Abb. 124). Der Deckel ist durch einen Stift mit einer starken Blattfeder fest verbunden. Die Dose ist fast luftleer. Zunehmender Luftdruck drückt den Deckel mehr nach innen. Die Bewegung des Deckels und der Blattfeder wird durch ein Hebelwerk auf den Zeiger vergrößert übertragen. Bei abnehmendem Luftdruck erfolgt eine gegenläufige Bewegung.

Der Luftdruckschreiber oder Barograph zeichnet den Luftdruck fortlaufend auf. Er ist ein Metallbarometer, bei dem zur Vergrößerung des Zeigerausschlages mehrere Dosen hintereinandergeschaltet sind. Am Ende

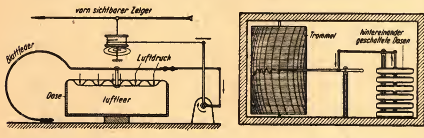


Abb. 124 Abb. 125

des Zeigers ist ein Schreibstift angebracht; dieser schreibt den jeweils herrschenden Luftdruck auf ein Blatt Papier, das auf einer durch ein Uhrwerk angetriebenen Trommel befestigt ist (Abb. 125).

Die Federkraftbarometer sind handlich und bequem, jedoch wegen der Änderung der Elastizität nicht so zuverlässig wie die Quecksilberbarometer. Sie müssen daher von Zeit zu Zeit nachgeprüft werden. Die Eichung erfolgt durch Vergleich mit einem Quecksilberbarometer.

Von den Manometern

Zum Messen von Wasser-, Dampf- und Gasdrücken verwendet man Manometer. Wir unterscheiden Flüssigkeitsmanometer und Federmanometer. Die ersteren bestehen aus einer U-förmig gebogenen Glasröhre mit einer Sperrflüssigkeit (gewöhnlich Wasser oder Quecksilber) und einer Skala (Abb. 126 und 127). Dabei sind entweder beide Schenkel offen, oder der eine Schenkel ist geschlossen. Im ersten Falle sprechen wir von einem offenen und im zweiten von einem geschlossenen Flüssigkeitsmanometer. Offene Flüssigkeitsmanometer stehen mit dem einen Schenkel mit der Druckmeßstelle (z. B. Gasraum, Heizgaskanal, Kondensator) und mit dem anderen mit der Außenluft in Verbindung. Schließt man eine solche mit etwas Wasser gefüllte Röhre mit einem Gummischlauch an die Gasleitung an, so drückt das Leuchtgas das Wasser in dem einen Schenkel etwa 60 bis 120 mm hoch. Die Flüssigkeit, die vorher in beiden Schenkeln gleich hoch gestanden hatte, steht nun in dem einen Schenkel um h mm höher. Die Wassersäule wird von dem Überdruck des Leuchtgases im Gleichgewicht gehalten. Das Gas steht also unter einem Überdruck von h mm WS. Diese offenen Flüssigkeitsmanometer werden in der Technik zur Messung kleiner Drücke benutzt. Denn selbst wenn man Quecksilber als Sperrflüssigkeit benutzt, würde schon ein geringer Überdruck genügen, um eine erhebliche Verschiebung der Quecksilbersäule hervorzurufen, und zwar 73,55 cm je at. Zur Messung eines Überdruckes von 10 atü würde demnach $h = 7{,}355$ m betragen. Bei solchen Drücken müßte das Rohr also sehr lang sein. Das Manometer würde zu unhandlich sein.

Abb. 126

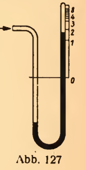


Abb. 127

Wird das Manometer (Abb. 126) an einen Raum mit Unterdruck angeschlossen, so steigt die Sperrflüssigkeit statt im rechten Schenkel im linken an, und die überstehende Flüssigkeitssäule h zeigt den Unterdruck an.

Benutzt man als Sperrflüssigkeit Quecksilber, so ergibt sich der Druck in mm WS dadurch, daß man den in mm QS abgelesenen Druck mit

13,6 malnimmt; denn Quecksilber ist 13,6-mal so schwer wie Wasser, oder die Wichte des Quecksilbers beträgt $\gamma = 13{,}6$. Bei einer anderen Sperrflüssigkeit, z. B. Petroleum, hat man zur Umrechnung in mm WS ebenfalls mit der Wichte der betreffenden Flüssigkeit malzunehmen.

Beispiel: An einem offenen Quecksilbermanometer wird ein Überdruck von 180 mm QS abgelesen. Wie groß ist der Überdruck in mm WS?

Lösung: Die Wassersäule, die einem Druck von 180 mm QS entspricht, ist 13,6mal so lang. Also ist der

$$\text{Überdruck } h_ü = 13{,}6 \cdot 180 = \underline{\underline{\textbf{2448 mm WS}}}$$

Will man den in mm WS gemessenen Druck in mm QS umrechnen, so hat man umgekehrt durch 13,6 zu teilen.

Beispiel: Im Heizraum eines Schiffes wird der Überdruck mit einem offenen Wassermanometer zu $h_ü = 232$ mm WS gemessen. Wie groß ist der Überdruck in mm QS?

Lösung: $232 \text{ mm WS} = \frac{232}{13{,}6} \approx \underline{\underline{\textbf{17,1 mm QS}}}$

Für schwache Drücke unter 50 mm WS und genaue Ablesungen läßt man den einen Schenkel flach ansteigen (Abb. 128). Die Teilpunkte der Skala rücken dann weiter auseinander.

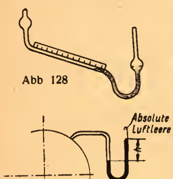


Abb 128

Abb. 129

Auch für höhere Drücke lassen sich Flüssigkeitsmanometer anwenden, jedoch nicht die oben beschriebenen, sondern die geschlossenen (Abb. 127). In dem geschlossenen Schenkel befindet sich über der Flüssigkeit Luft oder Stickstoff. Diese Gase werden beim Ansteigen des Druckes und damit der Flüssigkeit zusammengedrückt. Die Teilung der Skala wird nach oben kleiner, da Gase sich mit zunehmendem Druck immer schwerer zusammendrücken lassen (vgl. Luftpumpe, Autoreifen). Daher nimmt das Ansteigen der Flüssigkeitssäule gegen den Gasdruck im Schenkel mit wachsendem Druck an der Meßstelle ab.

Will man mit dem geschlossenen Flüssigkeitsmanometer einen Unterdruck, z. B. im Kondensator, messen, so muß der Raum über dem Quecksilber luftleer sein (Abb. 129). Die Flüssigkeitssäule h gibt in diesem Falle den absoluten Druck im Kondensator an; denn der Druck über der Sperrflüssigkeit ist 0 und die Flüssigkeitssäule wird getragen durch den Druck im Gefäß über 0. Das aber ist der absolute Druck.

Druckmesser, mit denen ein Unterdruck, ein Vakuum, gemessen wird, nennt man auch Vakuummeter.

Im Betrieb sind die Federmanometer oder Metallmanometer mehr verbreitet als die Flüssigkeitsmanometer. Sie sind unempfindlicher und handlicher als diese, die Ablesungen sind jedoch ungenauer; denn die Bewegung der Feder ist nur gering und die Übersetzung für diese groß. Sie sind ähnlich wie die Metallbarometer gebaut. Anwendung finden sie unter anderem an Dampfkesseln, Pumpen, Windkesseln, Gasflaschen und hydraulischen Pressen.

Ihre Wirkungsweise beruht entweder auf der Durchbiegung einer Metallplatte oder auf dem Bestreben eines gebogenen Rohres, sich bei einem inneren Überdruck zu strecken. Danach unterscheidet man Plattenfedermanometer und Röhrenfedermanometer.

Bei den ersteren (Abb. 130) wirkt der Druck auf eine gewellte und gehärtete Platte aus Stahlblech. Diese wird um so mehr durchgebogen, je höher der Druck ist. Die Formveränderung der Platte wird durch Hebel und Zahnsegment auf das Triebrad mit dem Zeiger, hinter dem sich die Skala befindet, übertragen. Sie sind nur wenig empfindlich und finden daher bei Schiffen und Lokomotiven wegen der auftretenden Erschütterungen Anwendung. Die geringe Bewegung der Plattenfeder und die große Übersetzung wirken sich ungünstig auf die Genauigkeit der Druckanzeige aus. Bei höherer Spannung verläuft die Anzeige nicht mehr proportional dem Druck.

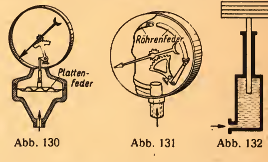


Abb. 130 Abb. 131 Abb. 132

Das Röhrenfedermanometer (Abb. 131) besteht aus einer kreisförmig gebogenen, elastischen Metallröhre, die einen ellipsenförmigen Querschnitt hat. Die Röhre ist an dem einen Ende geschlossen und steht mit dem anderen Ende mit dem Dampf- oder Gasraum in Verbindung. Das offene Ende ist fest an dem Gehäuse befestigt, während das geschlossene an das Manometergetriebe angeschlossen ist und dies bewegt. Entsteht nun in der Röhre ein innerer Überdruck, so streckt die Feder sich etwas. Bei abnehmendem Druck krümmt sie sich mehr zusammen. Die dabei auftretende Bewegung wird durch Hebel, Segment und Zahnrad auf den Zeiger übertragen. Zum Messen niedriger Drücke nimmt man eine dünnwandige Rohrfeder mit flachem Querschnitt, für hohe Drücke steigt die Wandstärke bis auf 2 mm, und der Querschnitt wird runder, er nähert sich der Kreisform.

Die Eichung der Federmanometer erfolgt bei Druckmessern für kleinere Drücke durch Vergleich mit dem offenen Quecksilbermanometer, für hohe Drücke durch Gewichtsbelastung nach Abb. 132.

Auch die Federmanometer können zum Messen von Unterdrücken als Vakuummeter benutzt werden. Die Federn dieser Instrumente müssen zu diesem Zwecke genügend empfindlich gebaut sein. Die Bewegung der Federn erfolgt bei Unterdruck nach der entgegengesetzten Seite wie bei Überdruck.

Das Vakuum wird vielfach in % des äußeren Luftdrucks angegeben. Herrscht z. B. ein Luftdruck von 1 ata und wird das Vakuummeter an einen völlig luftleeren Raum angeschlossen, so zeigt es 1 atu an. Das Vakuum beträgt 100% (absolute Luftleere). Wird bei demselben Barometerstand der Unterdruck zu 0,9 atu gemessen, so ist die Luftleere, auf den herrschenden Luftdruck bezogen, $\frac{0,9}{1,0} = 0,90 = \frac{90}{100}$ oder $90\% \left(\frac{90}{100} \cdot 100\right)$. Beträgt der Luftdruck $b = 0,95$ ata, so ist das Vakuum schon bei 0,95 atu gleich $100\% \left(\frac{0,95}{0,95} \cdot 100\right)$. Beträgt bei einem Luftdruck von 0,95 ata der Kondensatordruck 0,89 atu, so ist das Vakuum gleich $\frac{0,89}{0,95} \cdot 100 \approx 93,7\%$.

Allgemein gilt daher:

$$\text{Vak.} = \frac{p_u}{b} \cdot 100\%$$

Übungsaufgaben

26) Ein offenes Quecksilbermanometer zeigt einen Gasdruck von 125 mm QS an bei einem Barometerstand von 765 mm QS
   a) Wie groß ist der absolute Druck in mm QS?
   b) Wie groß ist der Überdruck in atü?
   c) Wie groß ist der absolute Druck in ata?

27) Unter dem Rost eines mit künstlichem Zug betriebenen Kessels zeigt ein offenes Flüssigkeitsmanometer mit Petroleumfüllung ($\gamma = 0,8$) einen Überdruck von 40 mm Flüssigkeitssäule an. Am Kesselende herrscht ein Unterdruck von 30 mm Flüssigkeitssäule. Wie groß sind die Drücke in mm WS?

Übungsbeispiele zur Wiederholung

1) Ein kupfernes Kabel von 2 km Länge hat einen Querschnitt von 3 cm². Die Wichte des Kupfers beträgt $\gamma = 8,9$. Wie groß ist das Gewicht des Kabels?
   Rechnungsgang: Die Wichte gibt uns an, wieviel mal so schwer ein Körper ist wie die gleiche Menge Wasser. Ist also für Kupfer $\gamma = 8,9$, so wiegt 1 dm³ (= 1 *l*) Kupfer 8,9 kg, da das Gewicht von 1 dm³ Wasser 1 kg beträgt. 10 dm³ Kupfer wiegen demnach $10 \cdot \gamma = 10 \cdot 8,9 = 89$ kg. Das Gewicht von V dm³ beträgt also

$$G = V \cdot \gamma \text{ kg}$$

   Um das Gewicht des Kabels in kg berechnen zu können, muß man zunächst seinen Rauminhalt V in dm³ bestimmen. Zu diesem Zwecke hat man die angegebene Länge 2 km in dm und den Querschnitt 3 cm² in dm² umzuwandeln. Nun sind 2 km = 2000 m = 20000 dm (1 km = 1000 m, 1 m = 10 dm). Ferner sind 100 cm² = 1 dm² (10 cm · 10 cm), also ist 1 cm² = $\frac{1}{100}$ = 0,01 dm² folglich 3 cm² = 3 · 0,01 = 0,03 dm².

Der Rauminhalt des Kabels ist V = Grundfläche mal Höhe = $g \cdot h$ = $0{,}03 \cdot 20000$ dm³. Diesen Wert hat man mit γ malzunehmen, um das Gewicht zu berechnen.

Lösung: Rauminhalt $V = F \cdot h = 0{,}03 \cdot 20000 = 600$ dm³
Gewicht $G = V \cdot \gamma = 600 \cdot 8{,}9 = 5340{,}0$ kg $= 5{,}34$ t

Das Gewicht des Kabels beträgt **5340 kg oder 5,34 t.**

2) Die Länge der Handkurbel einer Winde beträgt 400 mm. Welche Arbeit verrichtet der Arbeiter bei 25 Umdrehungen, wenn er mit einer Kraft von $P = 22$ kg an der Kurbel angreifen muß?

Rechnungsgang: Arbeit ist das Produkt aus Kraft und Weg, also

$$A = P \cdot s \text{ kgm}$$

Die Kraft ist bekannt: $P = 22$ kg. Der Weg muß errechnet werden. Bei einer Umdrehung ist der Weg gleich dem Umfang des Kreises, der den Halbmesser $r = 400$ mm oder den Durchmesser $d = 800$ mm hat. Dabei ist zu beachten, daß d in m eingesetzt werden muß, denn die Arbeit hat die Maßeinheit kgm. Der Weg bei einer Umdrehung ist gleich $d \cdot \pi$, bei 25 Umdrehungen demnach 25mal so groß, also $s = 25 \cdot d \cdot \pi$ m. $d \cdot \pi$ kann man den Technischen Tabellen (S. 2) entnehmen. Den gefundenen Wert hat man mit P malzunehmen.

Lösung: Weg $s = 25 \cdot 0{,}8 \cdot \pi = 25 \cdot 2{,}5133 = 62{,}83$ m
Arbeit $\mathbf{A} = P \cdot s = 22 \cdot 62{,}83 = 1382{,}26 \approx 1382$ kgm.

Die von dem Arbeiter bei 25 Umdrehungen verrichtete Arbeit beträgt **1382 kgm.**

3) Eine Pumpe soll minutlich 12 m³ Wasser auf eine Höhe von 40 m fördern.
   a) Wie groß ist die Nutzleistung der Pumpe in PS?
   b) Wie groß ist die erforderliche Leistung der Antriebsmaschine, wenn die Pumpe einen Wirkungsgrad von 0,82 hat?

Rechnungsgang: a) Die Leistung ist die Arbeit in der Zeiteinheit (1 s). 12 m³ Wasser haben ein Gewicht von 12000 kg. Die in einer Minute verrichtete Arbeit ist $P \cdot s = 12000 \cdot 40$ kgm. Die in 1 s geleistete Arbeit oder die Leistung der Pumpe ist $N = \frac{P \cdot s}{t}$ kgm/s ($t = 60$ s). Will man die Leistung in PS errechnen, so hat man das Ergebnis noch durch 75 zu teilen, da 75 kgm/s = 1 PS sind. Daher ist

$$N = \frac{P \cdot s}{75 \cdot t} \text{ PS}$$

b) Der Wirkungsgrad ist gleich dem Ergebnis, das man erhält, wenn man die abgegebene Leistung durch die zugeführte Leistung teilt: $\eta = \frac{N_{ab}}{N_{zu}} \cdot \eta$ ist uns bekannt. N_{ab} ist eben unter a) berechnet worden. N_{zu} ist zu berechnen aus der Gleichung $\eta = \frac{N_{ab}}{N_{zu}}$. Nehmen wir beide Seiten mit N_{zu} mal, so ergibt sich $\eta \cdot N_{zu} = \frac{N_{ab} \cdot N_{zu}}{N_{zu}}$. Teilen wir nun beide Seiten durch η, so erhalten wir: $\frac{\eta \cdot N_{zu}}{\eta} = \frac{N_{ab}}{\eta}$. Aus dieser Gleichung läßt sich die zuzuführende Leistung der Antriebsmaschine berechnen.

Lösung: a) Nutzleistung $N = \frac{P \cdot s}{75 \cdot t} = \frac{12000 \cdot 40}{75 \cdot 60} = \frac{320}{3} = 106{,}7$ PS

Die Nutzleistung der Pumpe beträgt **106,7 PS.**

b) Leistung der Antriebsmaschine $N_{zu} = \frac{N_{ab}}{\eta} = \frac{106{,}7}{0{,}82} \approx 130$ PS

Die erforderliche Leistung der Antriebsmaschine ist **130 PS.**

4) In dem Rauchgasvorwärmer einer Kesselanlage werden stündlich 8400 kg Wasser von 45° auf 138° vorgewärmt. Wie groß ist die durch die Rauchgase an das Kesselwasser übergehende Wärmemenge je Stunde?

Rechnungsgang: Um die Temperatur von 1 kg Wasser um 1° C zu erhöhen, ist 1 kcal erforderlich, um 1 kg um $t = (t_2 - t_1)°$ zu erwärmen, braucht man $(t_2 - t_1)$ kcal, für G kg demnach Gmal soviel; demnach ist die von dem Wasser aufgenommene Wärmemenge $Q = G \cdot (t_2 - t_1)$ kcal. G, t_2 und t_1 sind bekannt, also läßt sich Q bestimmen.

Lösung:

Wärmemenge $Q = G \cdot (t_2 - t_1) = 8400\,(138 - 45) = 8400 \cdot 93 = 781200$ kcal

An das Kesselwasser gehen je Stunde **781 200 kcal** über.

5) In der Feuerung eines Dampfkessels entstehen stündlich 12500 m³ Rauchgas von $t_1 = 1280°$ C. Bis zum Eintritt in den Schornstein kühlt sich das Gas bis auf $t_2 = 240°$ C ab. Wie groß ist der Rauminhalt der stündlich in den Schornstein eintretenden Rauchgasmenge?

Rechnungsgang: Die Abkühlung der Rauchgase geht unter gleichbleibendem Druck vor sich. Daher gilt das Gesetz von Gay-Lussac. Dies lautet: Bei der Temperaturveränderung eines Gases bei gleichbleibendem Druck verhalten sich die Rauminhalte wie die absoluten Temperaturen.

In einer Gleichung ausgedrückt: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$. Die Anfangstemperatur $t_1 = 1280°$ C und die Endtemperatur $t_2 = 240°$ C sind bekannt. Aus t_1 und t_2 lassen sich die absoluten Temperaturen T_1 und T_2 durch Hinzuzählen der Zahl 273 berechnen. $T_1 = t_1 + 273$, $T_2 = t_2 + 273$. Bekannt ist auch das Anfangsvolumen V_1. Folglich läßt sich das Endvolumen V_2 aus der obigen Gleichung bestimmen. Da $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$ ist, ist auch $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$. Daraus folgt durch Malnehmen beider Seiten mit V_1:

$$\frac{V_2 \cdot V_1}{V_1} = \frac{V_1 \cdot T_1}{T_2}$$

In diese Gleichung werden die Werte für V_1, T_1 und T_2 eingesetzt.

Lösung: $V_1 = 12500$ m³

$$T_1 = t_1 + 273 = 1280 + 273 = 1553° \text{ abs.}$$

$$T_2 = t_2 + 273 = 240 + 273 = 513° \text{ abs.}$$

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{12500 \cdot 513}{1553} \approx 4129 \text{ m}^3$$

Es treten stündlich **4129 m³ Gas** in den Schornstein ein.

Technisches Zeichnen

A. Technische Grundnormen

Allgemeine Gesichtspunkte

Um seine Gedanken auszudrücken und zu verdeutlichen, benutzt der Handwerker und der Techniker außer Sprache und Schrift die Skizze oder die Zeichnung.

Aber ebenso wie in der Sprache nicht jeder Mensch beliebige, selbstgeschaffene Worte gebrauchen kann, wenn er allgemeinverständlich bleiben will, und wie er nicht Buchstaben eigener Erfindung verwenden kann, wenn seine Schrift allgemein lesbar bleiben soll, so sind wir auch im technischen Skizzieren und Zeichnen an Formen gebunden, die in Normblättern festgelegt sind.

In den Ausführungen über Berechnen von Flächen- und Körperinhalten und in den Beispielen sind bereits zur Unterstützung der Sprache Skizzen verwendet worden. Das Hauptmerkmal einer S k i z z e ist, daß sie nicht maßstäblich zu sein braucht. Eine Z e i c h n u n g dagegen ist immer nach einem bestimmten, auf der Zeichnung angegebenen Maßstab ausgeführt. Sie werden daher auf unseren Skizzen keinen Maßstab angegeben finden. Sie werden aber feststellen, daß das Verhältnis der einzelnen Größen zueinander das gleiche ist wie in der Wirklichkeit. In einer Abbildung ist die Länge eines Rechtecks mit 10 m und die Breite mit 5 m angegeben. Die Länge ist also doppelt so groß wie die Breite. Deshalb ist auch in der Skizze die Länge doppelt so groß gewählt wie die Breite. Man erhält dann ein Bild, das der Wirklichkeit ähnlich ist. Das ist notwendig, weil jeder Handwerker oder Techniker in der Lage sein muß, nach Form und Maßen der Skizze sich den Gegenstand genau vorzustellen.

Skizzen sind freihändig auszuführen. Wenn wir von diesem Grundsatz in unserem Buch abgewichen sind, so ist dies im Interesse der Genauigkeit geschehen. Zu beschriften ist die Skizze möglichst in Normschrift, weil nicht alle Handschriften so deutlich sind, daß sie von allen anderen Fachleuten gelesen werden können. Unter allen Umständen sind die Zahlen in Normschrift sorgfältig zu zeichnen, da eine unleserliche Maßzahl Unheil anrichten kann.

Das Handwerkszeug zum Skizzieren besteht aus Papier, Bleistiften, Gummi und Maßstab. Denken Sie daran, daß nur mit gutem und gepflegtem Handwerkszeug gute Leistungen erzielt werden. Das Papier wählen Sie nicht zu glatt und nicht zu rauh, ohne Linien, unkariert. An Bleistiften benutzen Sie Nr. 3 oder F zum Skizzieren und Nr. 2 oder HB zum Nachziehen. Sie brauchen also immer zwei Stück. Die Bleistifte sollen gut gespitzt, aber an der Kuppe etwas abgerundet sein. Der Gummi muß dem Härtegrad der Bleistifte angepaßt sein. Weicher Bleistift und harter Gummi schmieren. Der Maßstab dient zum Festlegen der Hauptabmessungen, nicht als Lineal. Beim Skizzieren darf man nicht aufdrücken, denn Eindrücke in das Papier lassen sich nicht mehr durch Radieren entfernen.

Normschrift

Die in Normschrift gezeichneten, d. h. langsam und sehr sorgfältig geschriebenen Ziffern sehen so aus:

1234567890 3 4 8 1

Ihre Höhe als Maßzahl richtet sich nach der Zeichnung und wird etwa zwischen 3 und 5 mm schwanken. Die Zahlen in solcher Größe können Sie zunächst mit einer Kugelspitzfeder und Tinte, Tusche oder Skribtol schreiben. Haben Sie solches Gerät nicht zur Verfügung, so tut es zunächst auch ein Bleistift 2 oder HB. Alle Ziffern sind gleich breit, nur die 1 macht eine Ausnahme. Die Normschrift wird mit 75° Neigung geschrieben. Solange man die Normschrift nicht sicher beherrscht, gibt man sich die Richtung mit Hilfslinien an, die man durch Zusammenlegen der Zeichendreiecke (Abb. 133) erhält. Sind keine Dreiecke verfügbar, dann schätzt man die Richtung, man muß aber dann darauf achten, daß die gewählte Richtung beibehalten wird.

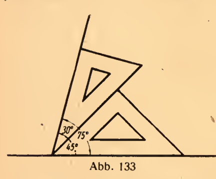


Abb. 133

Die Normschrift ist nach langen Überlegungen und Versuchen von Fachleuten als einfachste und deutlichste Schrift eingeführt worden. Machen Sie es sich daher zum Grundsatz, auch nicht die geringste Kleinigkeit zu ändern. Glauben Sie nicht, daß Ihre Schrift durch Anhängen von Schnörkeln schöner oder gar besser würde.

Und nun malen Sie frisch darauf los!

Von der Normschrift wollen wir zunächst die kleinen Buchstaben schreiben. Ziehen Sie sich vier Linien, von denen zwei die gewählte Höhe der Buchstaben angeben sollen, dann eine darüber, die die Oberlänge angibt, und eine darunter, die die Unterlänge angibt. Ober- und Unterlänge sind gleich hoch und immer halb so hoch wie die gewählte Buchstabenhöhe. Für die ersten Übungen wählen Sie die Buchstabenhöhe zu 3 bis 4 mm.

Wir schreiben Ihnen das Alphabet vor. Sie können daraus unmittelbar ersehen, wie die Buchstaben aussehen müssen, und auf welche Richtungen besonders zu achten ist.

Oberlänge
Schrifthöhe abcdefghiklmnopqrstuvwxyz
Unterlänge

Achten Sie darauf, daß alle Buchstaben, die aus o entstanden sind, gleich breit werden. oabdpqg ces

Ebenso müssen u, n und h gleich breit sein, ferner v, x, y, z.

Von der Normschrift schreiben wir nun die großen Buchstaben. Von den 4 Hilfslinien, die wir zum Schreiben der kleinen Buchstaben zogen, sind hier nur 2 notwendig, da alle großen Buchstaben die gleiche Höhe haben.

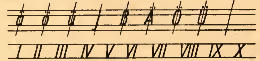
Es ist ebenfalls darauf zu achten, daß die Schreibrichtung von 75° eingehalten und die Buchstabenbreite gleichmäßig wird.

Wir schreiben auch das große Alphabet vor, damit Sie alle Buchstaben und ihre besonderen Merkmale genau sehen.

Die Schrifthöhe ergibt sich aus der für die kleinen Buchstaben gewählten Höhe.

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

Von der Normschrift haben wir bisher besprochen und vorgeschrieben: die arabischen Ziffern, sowie das kleine und das große Alphabet. Wir wollen nun die Schreibart der Umlaute und der Buchstaben j und ß, sowie die römischen Ziffern kennenlernen. Im übrigen gilt auch für diese das bereits Gesagte über Größe, Schreibrichtung usw.



Und nun schreiben Sie einmal Wörter! Sie wissen, daß fast alle Buchstaben gleich breit zu schreiben sind. Achten Sie darauf, daß die Abstände innerhalb eines Wortes kleiner sein müssen als die Abstände der Wörter untereinander, damit die Wörter klar hervortreten. Und die Abstände innerhalb eines Wortes müssen so gewählt werden, daß die Flächen zwischen den einzelnen Buchstaben dem Auge gleichmäßig erscheinen.

Beispiel:

falsch	richtig
enb roß	enb roß
es istnichtmehr	es ist nicht mehr

Und nun üben Sie!

Soldatenbriefe zur Berufsförderung Großdeutschland

technisches Skizzieren und Zeichnen usw.

Zeichenwerkzeug

Ohne einwandfreies Handwerkszeug kann keine anständige Arbeit verrichtet werden.

In der Werkstatt, auf dem Bauplatz, auf dem Werkplatz, am Reißboden, überall arbeitet der Handwerker mit Richtscheit, Setzlatte, Winkel und Zirkel. Tischler und Zimmerer reißen ihre Zeichnungen auf Holz auf. Alle Handwerkszeuge, die sie benutzen, verwenden auch wir zum Zeichnen, nur in kleinerem Maßstab und wesentlich verfeinert. Der Reißboden wird zum Zeichenbogen, das Richtscheit zur Reißschiene, Zimmermannstift und Kreide werden zu Bleistiften verschiedener Härtegrade, die großen Winkel werden Zeichendreiecke mit tadellosen geraden Kanten. Diese dürfen auch nur zum Zeichnen, niemals aber zum Schneiden von Papier usw. benutzt werden. Wir brauchen zwei solcher Zeichendreiecke, ein rechtwinklig-gleichschenkliges, an dem wir die Winkel von 45 Grad haben und ein rechtwinklig-ungleichschenkliges mit den Winkeln zu 60 und 30 Grad. Auch die Reißschiene ist ein reines Zeichengerät, sie darf nicht zum Einschlagen der Reißzwecken benutzt werden, da sich sonst die Anschlagleiste lockert und dadurch die Genauigkeit der Zeichnung beträchtlich leidet.

Der Zirkel, der auf dem Reißboden und in der Werkstatt meist zum Anreißen dient, wird nun zum Zeichnen von Bögen und Kreisen verwendet. Die eine Einsatzspitze ist deshalb auswechselbar. Sie kann einen Bleieinsatz erhalten. Außerdem hat man meist einen Stechzirkel mit zwei festen Spitzen, welcher zum Abtragen und zum Einteilen gleich großer Strecken benutzt wird. Auf die Einsatzspitzen muß sehr achtgegeben werden, da nur ein sauberer Einsatz eine genaue Zeichnung ermöglicht. Zirkel und Stechzirkel sind Teile des sogenannten Reißzeuges, das außerdem noch Nullenzirkel, besondere Zirkeleinsätze, Verlängerungsstücke und Reißfedern enthält. Im Notfall aber genügt ein Zirkel mit auswechselbarem Einsatz, der als Blei- und Stechzirkel verwendet werden kann. Für Zeichnungen in Tusche ist statt des Bleieinsatzes ein Reißfedereinsatz vorhanden, dazu für gerade Linien die vorher erwähnte Reißfeder.

Zum weiteren Handwerkszeug gehören noch, wie bereits im ersten Abschnitt besprochen, Maßstab, Bleistifte, Radiergummi und Papier. Der Maßstab ist ein Meß- und kein Zeichengerät, er dient also nur zum Messen und nicht als Lineal.

Merken Sie sich immer wieder: Ohne einwandfreies Zeichengerät kann niemals eine genaue und saubere Zeichnung angefertigt werden.

Sie haben in einem früheren Abschnitt schon gelesen, daß zwischen Skizze und Zeichnung unterschieden werden muß. Skizzen werden freihändig gemacht, während Zeichnungen mit Hilfe von Reißschiene, Zeichendreiecken und Zirkel angefertigt werden. Wichtig ist außer der Papierart noch der Härtegrad der Bleistifte, worüber ebenfalls schon gesprochen wurde. Sie werden bald selbst merken, welcher Härtegrad für Ihre Hand am geeignetsten ist. Skizziert und gezeichnet wird meist in Blei. Nur wenige

Zeichnungen werden heute noch in Tusche nachgezogen. Bei reinen Bleizeichnungen muß ganz besonders auf Sauberkeit geachtet werden, da weichere Bleistifte leicht schmieren und ein richtiges Abradieren der Zeichnung wie bei einer Tuschezeichnung nicht möglich ist. Bleistiftstriche sind in einem Zuge zu machen. Hin- und Herfahren gibt einen ungleichmäßigen Strich und schadet der Genauigkeit der Zeichnung. Wichtig ist eine ganz gleichmäßige Strichstärke, die durch ein dauerndes Drehen des Bleistiftes erreicht wird. Beim leichten Vorzeichnen soll ruhig bis über die Ecken hinausgezogen werden, dadurch ist ein genaueres Nachziehen gewährleistet. Die überstehenden Striche brauchen Sie nicht wegzuradieren.

Zum Ausziehen mit Tusche dient die oben schon erwähnte Reißfeder. Hiermit können bestimmte Strichstärken genau festgelegt werden. Nur ist darauf zu achten, daß die Feder richtig gefüllt wird und außen keine Tusche hängen bleibt. Die Tusche selbst darf nicht dickflüssig sein. Die richtige Haltung der Reißfeder ist ausschlaggebend für einen sicheren Strich. Die Feder muß senkrecht zum Papier stehen und darf während des Ziehens nicht gedreht werden, im Gegensatz zum Bleistift. Zu viel und zu wenig Tusche in der Feder ergibt ungleiche Strichstärken. Einen einwandfreien Strich erreichen Sie nur durch Übung. Besonders die Ecken werden anfangs mißlingen. Sie müssen auch Geduld haben und nie über noch nasse Striche hinwegziehen. Auch die Schnelligkeit des Ausziehens beeinflußt die Strichstärke, deshalb muß immer in gleichmäßigem Tempo gearbeitet werden. Ist das Zeichenpapier fleckig oder schmutzig, so gibt die Feder an solchen Stellen keine Tusche ab. Die Reißfeder muß nach jedem Gebrauch mit einem feuchten Lappen, ja nicht mit dem Messer, peinlich sauber gemacht werden. Für das Zeichnen von Kreisen gilt dasselbe wie für das Zeichnen von geraden Linien. Achten Sie auch darauf, daß beim wiederholten Einstechen mit der Zirkelspitze immer genau in demselben Punkt eingesetzt wird! Sonst entstehen zu große Löcher im Papier, und jedes genaue Weiterzeichnen ist unmöglich.

Blattgrößen und Maßstäbe

Die Größen für Zeichenblätter sind heute genormt und nach wohlbedachten Formaten geordnet. Bei dieser Normung der Zeichenblattgrößen sind auch die Zusammenhänge zwischen Zeichnungen, Geschäftspapieren, Zeichentischen und Büromöbeln berücksichtigt. Die Formate sind unveränderlich. Je zwei benachbarte Formate der Formatreihe der Zeichenblätter gehen durch Halbierung oder Verdopplung auseinander hervor. Die Flächen solcher Formate verhalten sich demnach wie 1 : 2 (siehe Abb. 134).

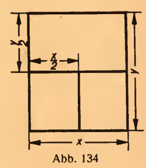


Abb. 134

Die Abmessungen der zugeschnittenen, fertigen Zeichnungen sind aus nachstehender Tabelle zu ersehen.

4 A0	2 A0	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	usw.
1682×2378	1189×1682	841×1189	549×841	420×594	297×420	210×297	148×210	105×148	bis A 10

Abb. 135

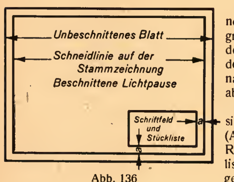


Abb. 136

Nun aber muß das zum Zeichnen zu verwendende Blatt etwas größer sein, da für die Eindrücke der Reißzwecken ein überstehender Rand vorhanden sein muß, der nach Fertigstellung der Zeichnung abgeschnitten wird (Abb. 136).

Unbeschnittene Blattgrößen sind deshalb ebenfalls genormt (Abb. 137). Die Abstände *a* vom Rand für Schriftfeld und Stückliste sind auch normenmäßig festgelegt (Abb. 137).

Beschnittene Lichtpause (Fertigblatt)	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6
	841×1189	594×841	420×594	297×420	210×297	148×210	105×148
Abstand a	10	10	10	10	5	5	5
Unbeschnittenes Blatt (Kleinstmaß)	880×1230	625×880	450×625	330×450	240×330	165×240	120×165
Die Blätter können in Hoch- und Querlage verwendet werden							

Abb. 137

Konstruktionen und Bauwerke können nur in seltenen Fällen in natürlicher Größe zeichnerisch dargestellt werden. Sie werden deshalb in irgendeinem **Maßstab** verkleinert, selten vergrößert dargestellt. Die Wahl des Maßstabes richtet sich nach der Art der darzustellenden Konstruktion und dem Zweck der Zeichnung.

Übliche Maßstäbe:

Natürliche Größe: 1 : 1.

Verkleinerungen: 1 : 2,5; 1 : 5; 1 : 10; 1 : 20; 1 : 50; 1 : 100; 1 : 200; 1 : 500; 1 : 1000.

Vergrößerungen: 2 : 1; 5 : 1; 10 : 1.

In den nachstehenden Abbildungen ist ein und dasselbe Rechteck in verschiedenen Maßstäben dargestellt.

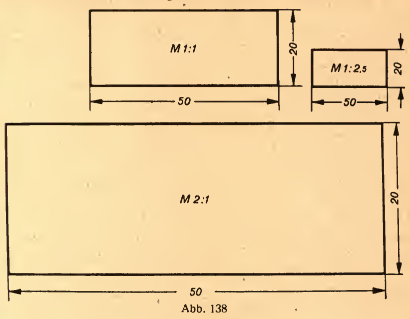


Abb. 138

Linien und Maße

In technischen Zeichnungen und Skizzen werden alle sichtbaren Kanten und Umrisse von Flächen und Körpern durch starke, volle Linien dargestellt. Alle Hilfslinien und Maßlinien sind durch dünne, aber glatt durchgezogene Linien darzustellen (Abb. 139). Senkrechte Maße müssen

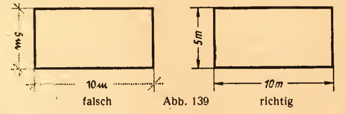


Abb. 139

immer von rechts zu lesen sein. Das Ende der Maßlinie darf nur durch den genormten Maßpfeil (⟵•) dargestellt werden, und wenn Sie noch so viele „wunderschöne" andere Endzeichen auf fertigen Zeichnungen sehen (⇷ ⇤ ⟻ ⊢). Die Hilfslinien, die eine Maßlinie begrenzen, müssen etwa 2 mm über diese hinausgehen.

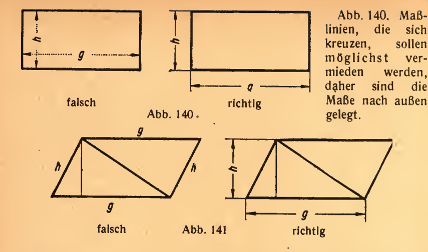


Abb. 140. Maßlinien, die sich kreuzen, sollen möglichst vermieden werden, daher sind die Maße nach außen gelegt.

Abb. 141. Maßeinschriebe ohne Maßlinie und Maßpfeil sind nicht anzuwenden.

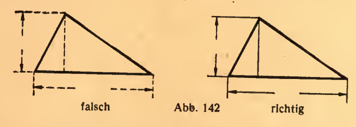


Abb. 142. Hilfslinien und Maßlinien dürfen nicht gestrichelt, sondern müssen glatt durchgezogen sein. Was eine gestrichelte Linie bedeutet, werden wir später sehen. Eine punktierte Linie (..................) gibt es überhaupt nicht.

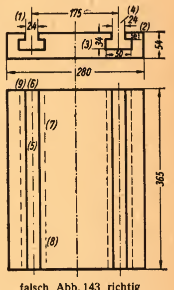
Maßzahlen, Mittellinien und unsichtbare Körperkanten

In diesem Abschnitt sollen einige Punkte besprochen werden, die in Abb. 143 links von der Achse falsch und rechts von der Achse richtig eingetragen sind. Der besprochene Punkt ist im Text und in der Skizze durch eine Zahl in Klammern bezeichnet.

Maße müssen eindeutig sein. Deshalb darf die Maßzahl nicht durch eine Linie geschnitten werden (1).

Kein Einzelmaß darf doppelt eingeschrieben werden, damit bei notwendigen Änderungen keine Unstimmigkeiten dadurch entstehen, daß die

Änderung in einem Falle vergessen wird. Das Gesamtmaß darf wegen der Kontrolle nie fehlen. Ist die zu messende Strecke klein, so daß kein Platz für Maßeinschrieb ist, so kann entweder das Maß über die Maßlinie geschrieben werden (2), oder aber es können die Maßpfeile von außen her eingetragen werden (3). Es ist auch zulässig, das Maß auf den verlängerten, von außen angesetzten Maßpfeil zu stellen (4). Grundsätzlich gilt das eingeschriebene Maß und nicht die gezeichnete Länge, auch bei maßstäblich angefertigten Zeichnungen.



falsch Abb. 143 richtig

Es ist darauf zu sehen, daß die Maße eingetragen werden, die bei der Herstellung des Gegenstandes benötigt werden.

Die Achse einer Skizze wird durch eine Linie angegeben, die aus langen Strichen und aus Punkten besteht. Der Zwischenraum zwischen Strichen und Punkten muß gering gehalten werden (5). In Abb. 143 haben auch die Aussparungen Achsen, die eingetragen werden müssen. Achsen sind gedachte Linien, keine Kanten. Sie müssen daher immer über den Rand des gezeichneten Gegenstandes hinausgeführt werden. Auch ein Strich einer Achslinie darf nicht am Rand enden, damit die Achslinie nie mit einer Kante verwechselt werden kann (6).

Die Aussparungen sind im Grundriß der Abb. 143 durch zwei innere durchgezogene und zwei äußere gestrichelte Linien dargestellt. Das bedeutet, die inneren Kanten sind im Grundriß zu sehen, die äußeren dagegen sind verdeckt. Gestrichelte Linien zeigen an, daß Kanten wirklich vorhanden, aber in der vorliegenden Darstellung nicht zu sehen sind. Die Zwischenräume bei gestrichelten Linien müssen im Verhältnis zur Länge der Striche gering sein (7). Die Striche dürfen niemals so kurz werden, daß sie in Punkte ausarten, denn punktierte Linien gibt es im technischen Skizzieren und Zeichnen nicht (8). Das Ende einer gestrichelten Linie muß klar sein. Der letzte Strich muß genau bis an die Kante herangeführt werden, an der die gestrichelte Linie enden soll (9).

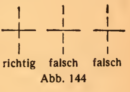

richtig falsch falsch

Abb. 144

Kreuzt eine gestrichelte Linie eine durchlaufende Linie, so darf kein Strich an der Linie enden, auch darf die durchlaufende Linie nicht zwischen zwei Strichen hindurchgehen, sondern es muß wirklich ein Kreuz entstehen, wie in Abb. 144 gezeichnet.

Körperliche und perspektivische Darstellung

Das technische Skizzieren verwendet zwei verschiedene Darstellungsarten, um technische Gegenstände klar und eindeutig darzustellen. Die eine Form haben Sie sicher schon selbst angewendet. Machen wir die Probe! Zeichnen Sie einen Ziegelstein auf ein Blatt Papier! Es ist gewiß, daß Sie eine der folgenden Skizzen gezeichnet haben (Abb. 145).

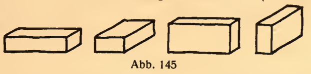


Abb. 145

Der Ziegel hat die Grundform eines Prismas. Ein Prisma allgemeiner Form verwenden wir in unseren weiteren Skizzen. Für einfache Gegenstände ist die Darstellung des Körpers sogar gut geeignet, Maßeintragungen aufzunehmen (Abb. 146). Bereits im ersten Abschnitt wurde gesagt, daß eine Skizze mit Maßen die Grundlage für die Herstellung des Gegenstandes ist. Schwierigere Maschinenteile erfordern für diese Darstellung als Körper schon große Zeichenfertigkeit, das Eintragen der Maße aber kann dabei undurchführbar werden. Deshalb ist eine weitere Darstellungsform entwickelt worden, die überwiegend in der Technik benutzt wird. Mit dieser „technischen Darstellungsform" wollen wir uns im nächsten Abschnitt beschäftigen. Jetzt sollen Sie noch einige Angaben erhalten für die Anlage der körperlichen oder perspektivischen Skizze. Die körperliche Skizze

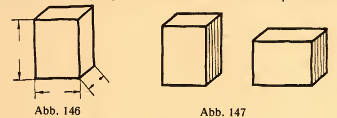


Abb. 146 Abb. 147

muß in unseren Fernbriefen in vielen Fällen das Maschinenteil ersetzen, das wir zeichnen wollen. Merken Sie sich vor allem: Senkrechte Kanten bleiben senkrecht. Alle nach hinten laufenden Kanten müssen um die Hälfte verkürzt gezeichnet werden, weil sonst der gezeichnete Körper uns verzerrt erscheinen würde. Wenn Sie die körperliche Wirkung steigern wollen, so können Sie die rechte Seitenfläche schraffen. Sie müssen sich dazu denken, daß das Licht von links her einfällt (Abb. 147).

Wie gehen Sie nun vor, um einen Körper zu zeichnen? Überlegen Sie sich stets zuerst seine Grundform, aus der der Gegenstand, den Sie zeichnen wollen, entstanden sein könnte. Diese Grundform zeichnen Sie mit l e i c h t e n Strichen, die ruhig über die endgültige Form hinausgehen

dürfen. Sind Abänderungen von der Grundform nötig, so tragen Sie diese ebenfalls mit leichten Strichen ein. Nun halten Sie sich das Zeichenblatt ein Stück ab und überprüfen Sie diesen Entwurf. Erkennen Sie die

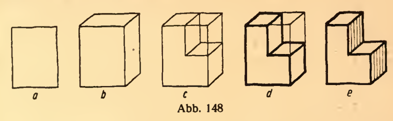


Abb. 148

fehlerfreie Ausführung, dann ziehen Sie freihändig mit kräftigen Strichen die gültigen Kanten durch. Die überstehenden dünnen Kanten können Sie wegradieren, aber bei einer schnellen Skizze können diese auch stehen-

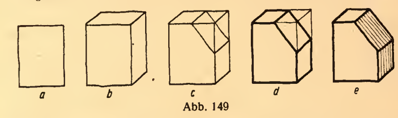


Abb. 149

blieben. Verfolgen Sie an zwei Beispielen die Entstehung einer perspektivischen Skizze (Abb. 148 und 149). Verstehen Sie diese Darstellungen recht. Die Folgen *a* bis *e* sind hier zur Veranschaulichung auseinandergezogen. Sie werden aber die einzelnen Arbeitsstufen in eine Zeichnung hineintragen. So sind die folgenden Skizzen der Abb. 150 gezeichnet. Wenn Sie recht bald zu einer Zeichenfertigkeit gelangen wollen, dann legen Sie alle Skizzen freihändig, also ohne Benutzung eines Lineals an und — lassen Sie Ihr Zeichenblatt immer liegen, drehen Sie es nicht in die einzelnen Strichrichtungen!


Abb. 150 Aufspannstücke

Eine besondere Überlegung erfordert die perspektivische Darstellung von Drehkörpern, das sind Zylinder, Kegel, Kegelstumpfe. Dabei sind Kreise zu zeichnen, die in perspektivischer Darstellung zumeist Ellipsen ergeben. Ellipsen (s. Abb. 151c und d) besitzen eine große und eine kleine Achse. Unterstützen Sie die folgenden Darstellungen mit einem kleinen Pappkreis, den Sie sich als Stirnseite einer Walze vorstellen. Mit Hilfe

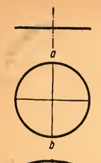


Abb. 151

einer Konservenbüchse oder einer Flasche zeichnen Sie sich einen Kreis auf, falls Sie keinen Zirkel haben. Auf die Kreisfläche zeichnen Sie zwei Achsen, die sich rechtwinklig schneiden. Durch den Mittelpunkt stecken Sie ein Streichholz oder einen Bleistift oder ein Stück Draht als Achse. Stellen Sie die Achse senkrecht und schauen Sie genau von vorn nach der Kreisfläche. Sie sehen einen waagerechten Strich (Abb. 151 a).

Jetzt schauen Sie genau von oben auf die Kreisfläche. Sie sehen den vollen, unverkürzten Kreis (Abb. 151 b).

Aber jetzt betrachten Sie Ihr Modell wieder von vorn und mehr und mehr neigen Sie die Achse auf sich zu. Jetzt erscheint Ihnen Ihr Kreismodell wie eine schmale oder breite Ellipse (Abb. 151 c und d), je nachdem, ob Sie es mehr oder weniger auf sich zudrehen.

Sinngemäß erhalten Sie den Übergang vom einfachen Strich über die Ellipse zum Kreis, auch für die senkrechte Stellung des Kreises (Abb. 152).

Merken Sie sich besonders: Die Ellipse hat keine Spitzen! (Abb. 152 e).

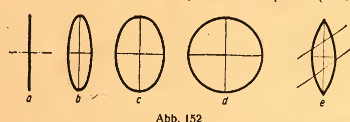
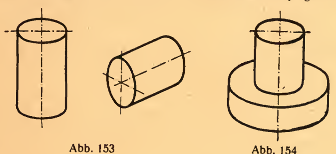


Abb. 152

Abb. 153 zeigt Ihnen eine stehende und eine schräg nach hinten liegende Walze, in Abb. 154 ist ein Bolzen mit zylindrischem Kopf gezeichnet.


Abb. 153 Abb. 154

Nun versuchen Sie selbst die perspektivische Darstellung dieser Drehkörper.

In Abb. 155 ist Ihnen noch einmal in Einzeldarstellungen gezeigt, wie Sie einen Hohlzylinder im Schnitt darstellen können. Zeichnen Sie die einzelnen Stufen mit. Dann werden Sie auch die folgenden Übungsaufgaben lösen können, für die Ihnen die Maße in voller Absicht freigestellt sind.

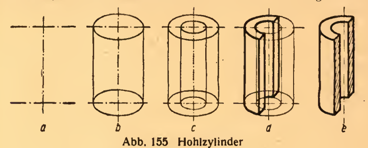


Abb. 155 Hohlzylinder

Übungsaufgaben

Versuchen Sie folgende Körper zu entwerfen (Lösungen am Ende des Buches):

1) Quadratische Säule.
2) Rechtecksäule mit Vierkantloch senkrecht in der Mitte zur größten Fläche.
3) Rechtecksäule, in der oberen Hälfte links und rechts je $\frac{1}{4}$ ausgeschnitten, der verbleibende Mittelzapfen steht senkrecht zur größten Fläche.
4) Zylinder mit zylindrischem Kopf und durchgehender Bohrung.
5) Zylinder mit einer Bohrung bis zur halben Höhe, Darstellung als Schnitt.

Technische Darstellung und Anordnung der drei Ansichten

Die perspektivische Darstellung eines Körpers haben Sie im vorigen Abschnitt kennengelernt. Dabei wurde der Körper in vereinfachter Darstellung genau senkrecht vor Sie hingestellt. Von dieser Aufstellung wollen wir heute ausgehen und die zweite Darstellungsart kennenlernen, die in der Technik überwiegend verwendet wird. Wir zeichnen noch einmal die einzelnen Zeichenfolgen für die Darstellung eines Prismas.

Abb. 156c zeigt Ihnen das Prisma unter Eintragung einer Schattenschraffung. In Abb. 156a ist die Ausgangsdarstellung leicht aufgezeichnet. Sie erkennen, daß diese Ausgangsdarstellung ein vollständiges Bild des Körpers sein kann, wenn Sie sich vor der Mitte des Körpers stehend

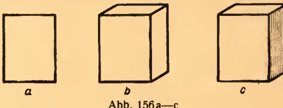


Abb. 156a—c

denken mit der Blickrichtung genau senkrecht auf den Körper, den Sie sich auf einem Tische stehend vorstellen müssen. Unsere Darstellung des Körpers nach Abb. 156a heißt Vorderansicht oder Aufriß. Würden wir jetzt das Prisma der Abb. 156 mit Hilfe des gezeichneten Aufrisses anfertigen können? Wir wissen nicht, wie tief der Körper werden soll.

Wenn wir aber den Körper von der Seite ansehen, so können wir seine Tiefe wahrnehmen. Sie bewegen sich von ihrem bisherigen Beobachtungsplatz, von dem aus Sie den Aufriß gezeichnet haben, weg und stellen sich so auf, daß Sie den Körper nunmehr von links aus senkrecht betrachten (Abb. 157). Dabei lassen Sie den Körper aber ruhig auf dem Tische stehen. Die Abb. 157 soll jeden Irrtum ausschließen. Tisch und Körper sind von oben gesehen. Beide erscheinen als ein Rechteck. Von Ihrem zweiten Standpunkt aus sehen Sie die linke Schmalseite des Körpers ebenfalls als ein Rechteck. Wir erkennen daran als obere und untere Parallele die Tiefe des Körpers (Abb. 158).

(2. Standpunkt)

(1. Standpunkt)

Abb. 157

Da wir den Körper von der Seite sehen, heißt diese Darstellung Seitenansicht oder Seitenriß. Stellen wir jetzt einmal beide Risse nebeneinander! Da ergeben sich zwei Möglichkeiten. Sie könnten den Seitenriß links oder auch rechts neben den Aufriß stellen (Abb. 159a und 159b). Hier ist eine Einigung nötig. Die Entscheidung hat der Deutsche Normenausschuß getroffen, von dessen Wirken wir schon wiederholt gesprochen haben. Wir stellen Aufriß und Seitenriß nach der in Abb. 159b gezeigten Weise nebeneinander und merken uns: Der Seitenriß steht immer rechts vom Aufriß. Sind wir jetzt imstande, nach Aufriß und Seitenriß den Körper anzufertigen? Wir können Höhe, Breite und Tiefe eintragen. Weitere

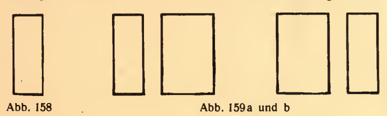


Abb. 158

Abb. 159a und b

Maße sind aber nicht erforderlich. Wir erkennen, daß es uns gelungen ist, unseren Körper durch zwei Risse so aufzuzeichnen, daß danach der Körper angefertigt werden kann. Für viele Körper ist die Darstellung in zwei Rissen völlig ausreichend. Es ist möglich, viele einfache Körper nach einer Zeichnung in zwei Rissen, in die auch die Maße eingetragen sind, anzufertigen.

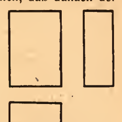


Abb. 160
Anordnung der Risse

Wir haben Aufriß und Seitenriß und ihre gegenseitige Stellung kennengelernt. Wir prägen uns ein: Die Seitenansicht muß genau neben die Vorderansicht gezeichnet werden. Sehr häufig ist es aber notwendig, um sich ein richtiges Bild von der Form des Körpers und seinen Abmessungen machen zu können, den Körper auch von oben zu betrachten. Wir beugen uns über unseren immer noch unverändert auf dem Tische stehenden Körper und sehen ihn uns senkrecht von oben an. Wir sehen dann ein schmales Rechteck, wie in Abb. 160 dargestellt. Da wir von oben nach unten auf den Körper blicken und nach dem Grund sehen, nennen wir diesen Riß Draufsicht oder Grundriß. Die Anordnung des Grundrisses bereitet uns keine Schwierigkeit, wir setzen ihn genau unter den Aufriß (Abb. 160).

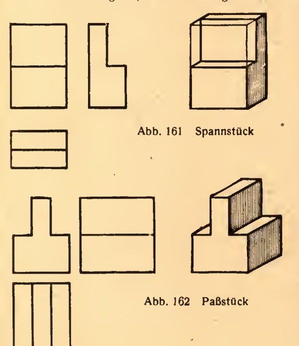


Abb. 161 Spannstück

Abb. 162 Paßstück

Es ist wichtig, daß Sie sich diese Verteilung der drei Risse fest einprägen. Sie dürfen auch nicht durch Platzschwierigkeiten sich verleiten lassen, den einen oder den anderen Riß umzustellen. Jede Abweichung von der besprochenen und genormten Verteilung der Risse ist ein grober Verstoß gegen das technische Zeichnen. Eine Umstellung der Risse kann von anderen nicht mehr verstanden werden. Wie wir bereits oben erkannten, wird es nicht immer nötig sein, von einfachen

Körpern alle drei Risse zu zeichnen. Wir sahen, daß Aufriß und Seitenriß allein genügen können, Form und Abmessungen des Körpers genau festzulegen. Ebenso ist auch häufig Aufriß und Grundriß allein ausreichend, um danach den Körper herstellen zu können.

Trotzdem wollen wir zur Übung der neuen Darstellungsweise zunächst alle drei Risse benutzen. Abb. 161 und 162 zeigen zwei weitere Körper mit Aufriß, Grundriß, Seitenriß. In Abb. 162 ist der Körper von seiner Schmalseite aus betrachtet.

Es seien noch einige allgemeine Hinweise gegeben für die Darstellung eines Körpers in den drei Rissen. Die Risse dürfen nicht zu eng aneinander gezeichnet werden, aber auch ein zu großer Zwischenraum ist nicht erwünscht. Der Zwischenraum wird nach Augenmaß so bemessen, daß die erforderlichen Maße bequem zwischen die Risse eingeschrieben werden können. Leicht wird übersehen, daß immer zwei Risse miteinander in einem Maße übereinstimmen. Aufriß und Seitenriß müssen gleich hoch sein, Aufriß und Grundriß besitzen gleiche Breite. Diese beiden Übereinstimmungen werden leicht erkannt. Überprüfen Sie aber vor allem, ob Sie auch das dem Grundriß und dem Seitenriß gemeinsame Tiefenmaß einhalten! Es ist nicht ausgeschlossen, daß Sie anfangs einen Fehler feststellen, indem der Grundriß und der Seitenriß Ihrer Darstellung verschiedene Tiefen aufweisen.

Und nun versuchen Sie einmal, die folgenden Körper mit Ihren drei Rissen darzustellen! Die Lösungen finden Sie am Ende des Buches.

Übungsaufgaben

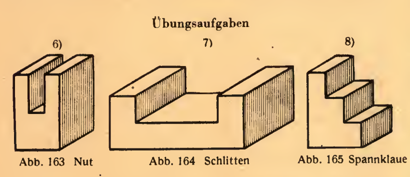


Abb. 163 Nut — Abb. 164 Schlitten — Abb. 165 Spannklaue

Wir wollen das Denken in diesen drei Rissen an einigen Beispielen noch einmal üben. Abb. 166 zeigt uns einen Schlitten. Diesen wollen wir in den drei Rissen darstellen. Wir denken uns den Schlitten unverrückbar auf einem Tische stehend. Wir betrachten ihn genau senkrecht von vorn und sehen ihn daher, wie in Abb. 167a dargestellt. Aus dieser Skizze gehen Breite und Höhe des Körpers hervor. Wir können aber aus diesem Riß noch nicht die Länge des Schlittens erkennen. Um die Länge des Schlittens darstellen zu können, zeichnen wir den Grundriß, indem wir auf den Schlitten senkrecht von oben schauen (Abb. 167b).

In der Längsrichtung des Schlittens sehen wir vier Kanten (1, 2, 3, 4). Die Nute unten am Schlitten können wir dagegen nicht sehen. Um die Nute im Grundriß darstellen zu können, denken wir uns für einen Augenblick den Schlitten aus durchsichtigem Material und erkennen alsdann die Kanten. Als in Wirklichkeit unsichtbar, zeichnen wir sie, wie Ihnen schon bekannt ist, als gestrichelte Linien.

Aus dem Aufriß und dem Grundriß ist nunmehr der Schlitten eindeutig zu erkennen. Ein weiterer Riß ist daher nicht erforderlich. Wir wollen aber zur Übung auch noch den Seitenriß skizzieren. Wir betrachten also den Körper von links seitwärts und sehen und zeichnen ihn, wie in Abb. 167c dargestellt. Die Nute können wir wieder nicht sehen, müssen sie also wieder gestrichelt darstellen. Auf eins müssen Sie immer wieder achten, was so leicht falsch gemacht wird: Die waagerechten Linien des Seitenrisses müssen genau so lang gezeichnet werden wie die senkrechten des Grundrisses. Denn beide Male handelt es sich um dieselbe Ausdehnung, in diesem Falle um die Länge des Schlittens. Machen Sie beim Anfertigen der Skizze in Gedanken immer den in Abb. 167 gezeichneten Pfeil, der auf die gleichen Ausdehnungen im Grundriß und Seitenriß hinweist!

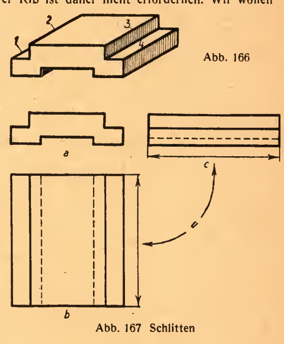


Abb. 167 Schlitten

Ein grundsätzlicher Fehler ist es, in den Rissen nur „Kanten“ des Körpers zu sehen. Jeder Riß stellt den ganzen Körper dar. Wenn wir uns also aus den Rissen den Körper vorstellen — d. h. technisch gesprochen: „die Zeichnung lesen“ — müssen wir uns unter jedem Riß den ganzen Körper räumlich vorstellen.

Zur weiteren Übung wollen wir den folgenden Körper nach Abb. 168 darstellen. Wir betrachten den Körper wieder von vorn und sehen ihn als Aufriß in der Darstellung der Abb. 169a. Jetzt sehen wir von oben senkrecht auf den Körper. Die Kante 4 ist nicht zu sehen; sie muß also gestrichelt werden.

In dem gezeichneten Grundriß fällt uns auf, daß die schräge Kante 3 viel kürzer gezeichnet ist als im Aufriß. Die Kante 1 muß im Grundriß genau senkrecht unter der Stelle liegen, wo sie auch im Aufriß dargestellt ist. Merke: Jede Fläche und Kante, auf die man nicht senkrecht, sondern schräg schaut, erscheint verkürzt.

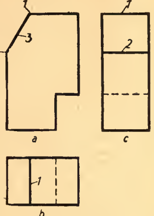


Abb. 169 Paßstück

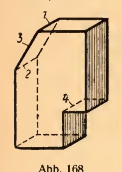


Abb. 168

Betrachten wir den Körper in Abb. 168 nun noch von links seitwärts und skizzieren die Seitenansicht (Abb. 169 c)! Die Kante 4 ist wieder unsichtbar; sie muß also gestrichelt werden. Auf die Kante 3 sehen wir, da unsere Blickrichtung waagerecht ist, wieder schräg; sie erscheint uns also wieder verkürzt. Die Kante 2 muß im Seitenriß in gleicher Höhe liegen wie im Aufriß. Achten Sie beim Skizzieren des Seitenrisses wieder darauf, daß die waagerechten Kanten im Seitenriß genau so lang sein müssen wie die senkrechten Kanten im Grundriß!

Übungsaufgaben

9) bis 11) Skizzieren Sie zu dem gegebenen Aufriß und Grundriß jeweils den Seitenriß!

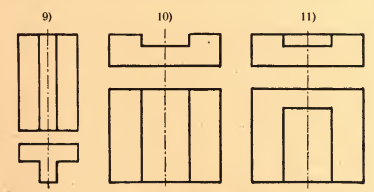


Abb. 170 T-Stahl   Abb. 171 Schlittenführung   Abb. 172 Führungsstück

12) bis 16) Aufriß und Seitenriß sind gegeben. Skizzieren Sie den Grundriß!

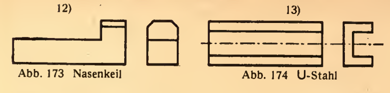


Abb. 173 Nasenkeil Abb. 174 U-Stahl

17) Im Aufriß der Abb. 178 ist ein Fehler. Zeichnen Sie den richtigen Aufriß!

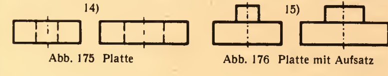


Abb. 175 Platte Abb. 176 Platte mit Aufsatz

18) Zeichnen Sie zu Abb. 179 das Gegenstück, das in die Nute paßt, in allen drei Rissen!

16)

Abb. 177 Paßstück

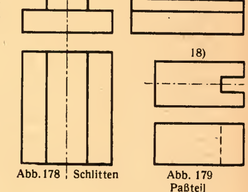


Abb. 178 Schlitten Abb. 179 Paßteil

Darstellung von runden Körpern

Die meisten Maschinenteile, mit denen wir zu tun haben, sind rund: Achsen, Wellen, Räder, Riemenscheiben, Bolzen, Niete, Schrauben Zylinder, Rohre, Buchsen usw. Wir greifen aus der Vielzahl dieser Beispiele einen ganz einfachen Bolzen (Abb. 180) heraus, um uns an ihm die zeichnerische Darstellung runder Körper klarzumachen. Wir denken uns den Bolzen auf dem Tisch stehend und betrachten den Bolzen von vorn, von oben und links von der Seite. (Zur Unterstützung der Anschauung können Sie eine Konservenbüchse vor sich hinstellen.) Schauen Sie zunächst senkrecht von vorn gegen den Bolzen. Sein Umriß erscheint Ihnen in dieser Blickrichtung als ein Rechteck, dessen Breite gleich dem Durchmesser des Bolzens ist (Abb. 181 a). Daß der Bolzen rund ist, geht aus

dieser Ansicht nicht hervor. Wenn Sie nun den Bolzen senkrecht von oben ansehen, so erscheint er Ihnen als Kreisfläche (Abb. 181 b). Nun betrachten Sie den Bolzen noch von links seitwärts. Sie sehen wieder ein Rechteck (Abb. 181 c), das die gleichen Abmessungen hat wie der Aufriß.

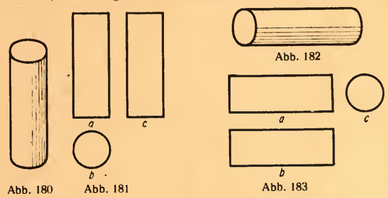


Abb. 180 Abb. 181 Abb. 182 Abb. 183

Nun wollen wir den Bolzen noch waagerecht auf dem Tische liegend darstellen (Abb. 182). Wir sehen die drei Ansichten wie in Abb. 183 gezeichnet.

Vergleichen Sie die Abb. 181 und 183, so fällt Ihnen auf, daß bei beiden Anordnungen je zwei Ansichten vollkommen gleich erscheinen: in Abb. 181 Aufriß und Seitenriß, in Abb. 183 Aufriß und Grundriß.

Wenn wir in Abb. 181 den Seitenriß fortlassen, so können wir uns aus dem Aufriß und Grundriß allein ein vollständiges Bild des Körpers machen; aus dem Aufriß erkennen wir die Länge und Stärke des Bolzens; der Grundriß sagt uns, daß der Bolzen rund ist. Wir benötigen also zum eindeutigen Erkennen des Körpers den Seitenriß nicht und können ihn daher fortlassen. Ebenso genügen bei der waagerechten Anordnung in Abb. 183 Aufriß und Seitenriß.

Wenn wir aus dem Aufriß erkennen könnten, daß der Körper rund ist, würde uns zum eindeutigen Erkennen des Körpers der Aufriß allein genügen. Um anzudeuten, daß der Körper rund ist, versieht man die Skizze (Abb. 184) mit dem Durchmesserzeichen (⌀). Dieses Durchmesserzeichen setzt man bei der Bemaßung hinter die Zahl, die die Stärke, d. h. den Durchmesser des Bolzens angibt. Das Durchmesserzeichen wird etwas erhöht gesetzt, damit es nicht mit einer Zahl verwechselt werden kann.

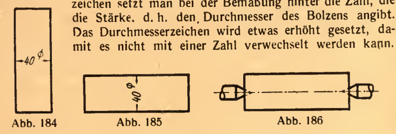


Abb. 184 Abb. 185 Abb. 186

Nun können wir aus dem Aufriß (Abb. 184) allein den Körper eindeutig erkennen: wir sehen, wie lang er ist, wie stark er ist und daß er rund ist.

In waagerechter Lage zeigt uns Abb. 185 die eindeutige Darstellung des Bolzens.

Auf die Bemaßung im allgemeinen kommen wir später zurück.

Sie wissen, der Bolzen erhält seine Form auf der Drehbank, indem er zwischen die beiden Körnerspitzen gespannt und gedreht wird (Abb. 186). Denken Sie sich die beiden Körnerspitzen durch eine Linie miteinander verbunden, so haben Sie die Drehachse des Bolzens. Diese Drehachse muß genau in der Mitte des Bolzens liegen, denn sonst schlägt er beim Drehen. Im praktischen Betrieb stellen wir uns die genaue Mitte des Werkstückes durch Zentrieren her. Daß wir bei ungenauem Zentrieren keine einwandfreie Arbeit erhalten, wissen Sie aus Erfahrung. Ebenso wissen Sie vom Bohren, wie wichtig es ist, den Mittelpunkt der Bohrung genau festzulegen. Sie sehen, die Festlegung der Mitte ist bei runden Körpern die erste Arbeit und die Vorbedingung für den Erfolg der Arbeit. Die Mitte eines runden Körpers muß daher schon auf der Zeichnung genau festliegen. Wir werden später noch sehen, daß sich auch die Bemaßung auf der Mittellinie aufbaut. Die Mittellinie darf also in einer Zeichnung eines runden Körpers niemals fehlen, auch nicht bei flüchtigen Skizzen. Im Gegenteil, man zeichnet sie immer zuerst. Dadurch hat man für seine Skizze gewissermaßen ein Rückgrat, um das herum der Körper dann leicht gezeichnet werden kann. In einem Kreise werden immer zwei Mittellinien gezeichnet, die aufeinander senkrecht stehen. Dadurch liegt der Mittelpunkt des Kreises genau fest.

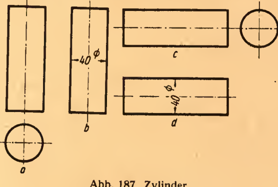


Abb. 187 Zylinder

Die Mittellinien sind nur gedachte Linien, keine Kanten. Sie werden als dünne, strichpunktierte Linien gezeichnet.

Abb. 187 zeigt uns die verschiedenen Arten, wie wir den Bolzen normgerecht darstellen können.

Im Maschinenbau finden wir sehr viele runde Körper, die sich in der Längsrichtung verjüngen (Abb. 188). Solche Körper nennt man Kegel (früher nannte man sie Konus).

Da es sich um einen runden Körper handelt, zeichnen wir wieder zuerst die Mittellinie. Betrachten wir den Kegel von vorn, so erscheint er uns als Trapez, dessen obere Seite gleich dem Durchmesser der Deckfläche

und dessen untere Seite gleich dem Durchmesser der Grundfläche ist (Abb. 189a). Wenn wir von oben auf den Kegel schauen, so sehen wir die Deckfläche als Kreisfläche, während sich die Mantelfläche allmählich bis zum Grundkreis erweitert. Wir sehen also als deutliche Kanten zwei Kreise. Diese zeichnen wir (Abb. 189). Der Mantel erscheint im Grundriß verkürzt als die Fläche zwischen dem inneren und äußeren Kreise. Die wichtigste Ansicht ist also der Aufriß; aus ihm können wir die Größe der Deck- und Grundfläche, die Höhe des Kegels und die Art der Verjüngung erkennen. Der Grundriß sagt uns dagegen nur, daß der Körper rund ist, gibt uns aber keinen Aufschluß darüber, ob der Kegel schlank oder gedrungen ist. Wenden wir wieder wie beim Bolzen das Durchmesserzeichen an, so kommen wir mit dem Aufriß allein aus (Abb. 190).

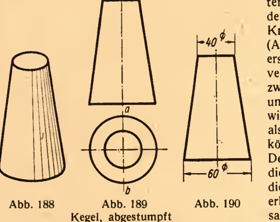


Abb. 188 Abb. 189 Abb. 190
Kegel, abgestumpft

Der Kegel in Abb. 188 ist abgestumpft. In dieser Form kommt er meist im Maschinenbau vor. Seltener kommt der spitze Kegel (Abb. 191) vor (z. B. bei der Körnerspitze). Abb. 192 zeigt uns diesen Kegel in Aufriß und Grundriß, Abb. 193 in der üblichen Darstellung mit Durchmesserzeichen.

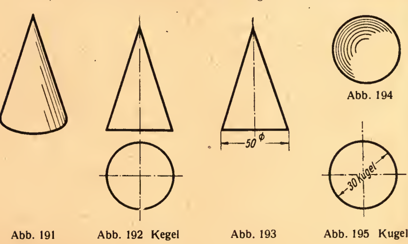


Abb. 194

Abb. 191 Abb. 192 Kegel Abb. 193 Abb. 195 Kugel

Zum Schluß sei noch die Kugel (Abb. 194) dargestellt. Sie erscheint in allen Ansichten als Kreis. Zeichnet man die Kugel nur in einer Ansicht, so wird die Kugelform durch Zusatz des Wortes „Kugel" zum Durchmessermäß angegeben, z. B. 30 Kugel (Abb. 195).

Übungsaufgaben

19) bis 22) Zeichnen Sie die folgenden Übungsaufgaben in so viel Ansichten, wie zur eindeutigen Darstellung erforderlich sind (Abb. 196 bis 199)!

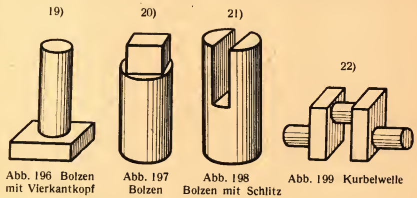


Abb. 196 Bolzen mit Vierkantkopf — Abb. 197 Bolzen — Abb. 198 Bolzen mit Schlitz — Abb. 199 Kurbelwelle

Maßeintragung bei runden und quadratischen Körpern

Die Skizze oder Zeichnung eines Werkstückes vermittelt uns eine Vorstellung von seiner Form. Nach der Zeichnung können wir den Körper aber nur genau herstellen, wenn die Zeichnung Maße enthält. Diese Maße sind notwendig, damit der Arbeiter bei der Herstellung des Werkstückes die Abmessungen unmittelbar aus der Werkstattzeichnung entnehmen kann. Selbst wenn im Zeichenbüro eine nicht genaue maßstäbliche Zeichnung hergestellt ist, gilt das eingetragene Maß.

Zur Übung wollen wir einige Körper normgerecht skizzieren und gleichzeitig mit Maßen versehen.

Abb. 200 zeigt uns einen Bolzen mit mehreren Absätzen.

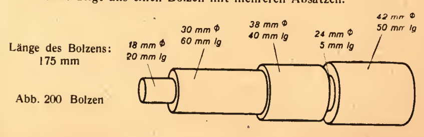


Abb. 200 Bolzen

In Abb. 201 sehen wir seinen Aufriß und Seitenriß.

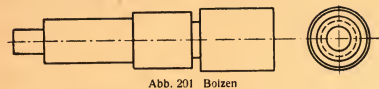


Abb. 201 Bolzen

Bei der Bemaßung haben wir zu beachten, daß diejenigen Maße eingetragen werden müssen, die zur Herstellung des Stückes erforderlich sind, und zwar sind die Fertigmaße einzutragen, d. h. es müssen diejenigen Abmessungen angegeben werden, die das Werkstück nach der Bearbeitung aufweisen soll.

Überlegen wir zunächst, wie der Bolzen hergestellt wird.

1. Arbeitsgang: 45er Rundstahl 180 mm lang absägen.
2. Arbeitsgang: Bolzen in das Drehbankfutter einspannen, eine Seite plandrehen und zentrieren.
3. Arbeitsgang: Bolzen umspannen und die andere Seite nach Maß plandrehen und zentrieren.
4. Arbeitsgang: Bolzen zwischen den Spitzen auf 43 mm ⌀ 52 mm lang schruppen und auf 42 mm ⌀ schlichten.
5. Arbeitsgang: Bolzen umspannen und folgende Ansätze schruppen: 39 mm ⌀ 127 mm lang, 31 mm ⌀ 79 mm lang, 19 mm ⌀ 19 mm lang.
6. Arbeitsgang: Die geschruppten Ansätze nach Maß schlichten und mit dem Seitenstahl die Ecken ausdrehen.
7. Arbeitsgang: Nute 5 mm breit mit dem Stechstahl einstechen.

Aus dieser Überlegung heraus ergibt sich die Bemaßung nach Abb. 202.

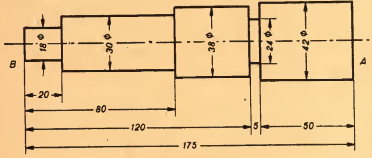


Abb. 202 Bolzen

Aus der Art der Maßeintragung ersehen wir, daß, wie es dem Arbeitsgang entspricht, das Längenmaß 50 von der Fläche *A* aus, die

Längenmaße 20, 80 und 120 von der Fläche *B* aus einzuhalten sind. Es ist falsch, die Längenmaße nach Abb. 203 einzutragen, weil wir die Längenmaße in dieser Form bei der Bearbeitung nicht brauchen.

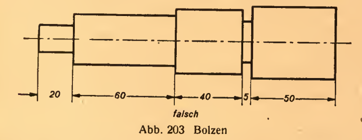


Abb. 203 Bolzen

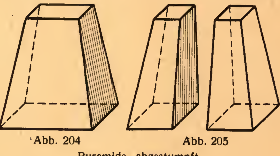
In Abb. 202 sind alle senkrechten Maße mit einem Durchmesserzeichen versehen. Daraus erkennen wir, daß alle Absätze rund sind. Ein Seitenriß erübrigt sich also.

Die einzelnen Durchmessermaße sind neben die Mittellinie gesetzt. Reicht der Raum hierzu nicht aus, wird die Mittellinie unterbrochen. Keinesfalls darf die Mittellinie durch die Zahl hindurchgehen. Das Durchmesserzeichen darf nur in der in Abb. 202 angewendeten Form gebraucht werden. Andere Darstellungen, wie ⌀, ⌀, ⌀ sind unzulässig.

Wir wollen nun den in Abb. 204 dargestellten Körper betrachten. Er ist ein Pyramidenstumpf mit quadratischer Grund- und Deckfläche.

Denken wir uns diesen Pyramidenstumpf von oben nach unten in der Mitte durchgesägt, so erhalten wir zwei Teile, von denen der eine das Spiegelbild des anderen ist (Abb. 205).

Rechts und links dieser Schnittfläche sind die Abmessungen beider Teile gleich. Solche Körper nennt man symmetrisch. Alle symmetrischen Körper werden in der technischen Zeichnung durch eine Mittellinie gekennzeichnet. Eine Mittellinie verwenden wir also nicht nur bei der Darstellung runder Körper, sondern bei der Zeichnung aller symmetrischen Körper. Wie beim Skizzieren runder Körper zeichnen wir auch jetzt wieder zuerst die Mittellinie. Abb. 206 zeigt uns den Körper in Aufriß und Grundriß ohne Maße. Um den Pyramidenstumpf herstellen zu können, müssen wir die Höhe des Körpers kennen (80 mm)


Abb. 204 Abb. 205
Pyramide, abgestumpft

und wissen, wie breit und tief der Körper unten und oben ist (60 bzw. 40 mm). Das Maß 60 bzw. 40 erscheint zweimal, da Grund- und Deckfläche quadratisch sind. Diese zweimalige Eintragung der Maße 60 und 40 vermeidet man dadurch, daß man, ähnlich wie bei den runden Körpern, auch für quadratische Körper ein besonderes Zeichen verwendet, nämlich das Quadratzeichen (□).

Dieses Zeichen setzen wir wie das ⌀-Zeichen etwas oberhalb der Maßzahl Abb. 208 zeigt uns, wie die Skizze bei Anwendung des □-Zeichens aussieht.

Nun können wir die Maße für die Breite und Tiefe auch im Aufriß anbringen. Aus Abb. 209 ersehen wir, daß wir aus dem Aufriß allein uns den Körper vorstellen können.

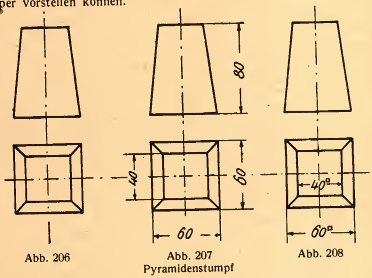


Abb. 206 Abb. 207 Pyramidenstumpf Abb. 208

Dem pyramidenförmigen Körper wollen wir einen kegelförmigen Körper gegenüberstellen, der die gleiche Höhe, Stärke und Verjüngung hat (Abb. 210). Im vorigen Abschnitt haben wir schon gelernt, daß wir ihn wie in Abb. 211 darstellen können. Vergleichen wir nun die Abb. 209 und 211 miteinander, so erkennen wir, daß beide Skizzen sich nur durch das □- bzw. ⌀-Zeichen unterscheiden. Es ist also sehr wesentlich, daß man beide Zeichen deutlich schreibt. Falsch ist es, wie man es auf manchen alten Zeichnungen noch sieht, durch das Quadratzeichen einen Strich zu machen (Abb. 212). Nur zu leicht kann es dann mit dem Durchmesserzeichen (⌀) verwechselt werden.

Der Bolzen nach Abb. 213 besteht aus runden und kantigen Teilen. Um aus der Skizze (Abb. 214) den kantigen Teil leichter erkennen zu können, kann man ein weiteres Hilfsmittel anwenden, das Diagonalkreuz. Es ist

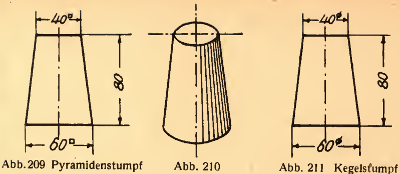


Abb. 209 Pyramidenstumpf Abb. 210 Abb. 211 Kegelstumpf

in feinen Linien einzutragen, da die beiden Linien keine Kanten, sondern nur Hilfslinien sind. Man macht von diesem Hilfsmittel aber nur Gebrauch, wenn der Körper nur in einem Riß gezeichnet ist.

In Abb. 215 sehen wir eine einfache Platte mit 4 Löchern. Abb. 216, zeigt uns, wie sie in einem Riß dargestellt werden kann, wenn man die

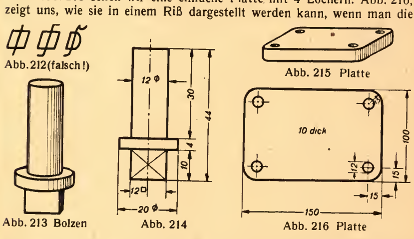


Abb. 212 (falsch!) Abb. 213 Bolzen Abb. 214 Abb. 215 Platte Abb. 216 Platte

Blechstärke in die Skizze einträgt. Aus diesem Beispiel ersehen wir ferner, daß man die Maße für die Bohrungen, die sich gleichmäßig an den Ecken wiederholen, nur einmal anzugeben braucht. Wir sehen ferner, wie man einen Halbmesser angibt: eine Maßlinie, die nur einen Pfeil am Kreisbogen hat. Der Mittelpunkt des Halbmessers ist durch das Mittellinienkreuz festgelegt. Setzt der Halbmesser außerhalb eines Mittellinienkreuzes an, so wird der Mittelpunkt durch einen kleinen Kreis gekennzeichnet (Abb. 217).

Abb. 217 Abb. 217a

Werden nach Fertigstellung der technischen Zeichnung Maßänderungen erforderlich, so wird das alte Maß so durchgestrichen, daß es noch lesbar ist und das neue Maß darübergeschrieben (Abb. 217 a).

Übungsaufgaben

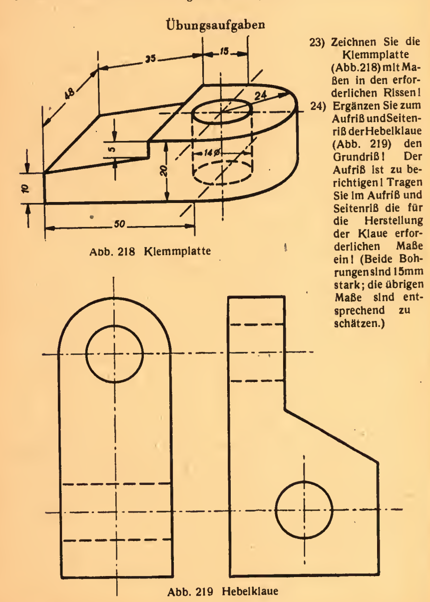


Abb. 218 Klemmplatte

Abb. 219 Hebelklaue

23) Zeichnen Sie die Klemmplatte (Abb. 218) mit Maßen in den erforderlichen Rissen!

24) Ergänzen Sie zum Aufriß und Seitenriß der Hebelklaue (Abb. 219) den Grundriß! Der Aufriß ist zu berichtigen! Tragen Sie im Aufriß und Seitenriß die für die Herstellung der Klaue erforderlichen Maße ein! (Beide Bohrungen sind 15 mm stark; die übrigen Maße sind entsprechend zu schätzen.)

Schnittdarstellung

Häufig haben wir hohle Körper zeichnerisch darzustellen. Denken Sie nur an Rohre, Ventile, Gehäuse, Zylinder, Büchsen, Lager, an die Naben von Zahnrädern, Riemenscheiben usw. Jede Schraube und jede Niete

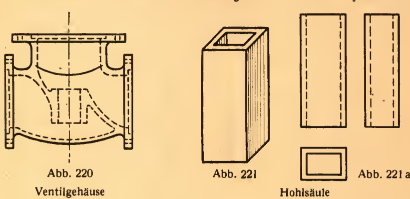


Abb. 220 Ventilgehäuse

Abb. 221 Abb. 221 a Hohlsäule

sitzt in einer entsprechenden Bohrung. Nach den bisher kennengelernten Grundsätzen müssen wir unsichtbare Kanten durch gestrichelte Linien darstellen, wie z. B. den Ventilkörper in Abb. 220. Je mehr gestrichelte Linien in einer Skizze enthalten sind, um so schwieriger wird es, sich eine räumliche Vorstellung von dem dargestellten Körper zu machen. Man hat daher für hohle Körper eine zweckmäßigere Darstellungsweise eingeführt, die Zeichnung im Schnitt. Wir wollen diese Darstellungsweise an einem einfachen Hohlkörper, einer viereckigen Hohlsäule (Abb. 221), erläutern. Denken wir uns die Säule auf dem Tische stehend und betrachten wir sie in der gewohnten Weise von vorn, von oben und von links, so ergeben sich die in Abb. 221 a dargestellten Risse. Um die gestrichelten Linien zu vermeiden, gehen wir in folgender Weise vor:

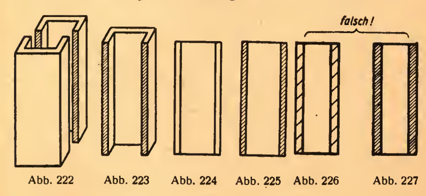


Abb. 222 Abb. 223 Abb. 224 Abb. 225 Abb. 226 Abb. 227

Wir denken uns den Körper in der Mitte senkrecht von oben nach unten aufgeschnitten (Abb. 222) und die vordere Hälfte weggenommen. Es bleibt also nur die hintere Hälfte der Säule übrig (Abb. 223).


Hirnholz


Langholz


Dichtungsstoffe
(z. B. Fiber, Asbest)


Beton


Erdreich

Abb. 228

Diese gedachte hintere Hälfte der Säule zeichnen wir im Aufriß (Abb. 224). Um zum Ausdruck zu bringen, daß wir uns die Hohlsäule durchschnitten gedacht haben, schraffen wir diese vermeintlichen Schnittflächen, wie in Abb. 225 dargestellt ist. Die für das Schraffen angewendeten Linien zeichnet man als Hilfslinien dünn. Man nennt sie „Schraffen".

Merke besonders: Man darf nur solche Flächen schraffen, die beim gedachten Durchsägen des Körpers als Schnittflächen am Werkstoff entstehen.

Keineswegs darf z. B. die mittlere Fläche in Abb. 225 geschrafft werden, weil diese Fläche hinter der Schnittebene liegt und daher von der Säge nicht berührt würde.

Die Schraffen werden unter 45° zur Grundlinie oder Achse angebracht. Ihr Abstand ist entsprechend der Größe der Schnittfläche zu wählen; im allgemeinen werden sie etwa 1 bis 3 mm voneinander entfernt eingetragen. Ein zu weiter Abstand hebt den Schnitt nicht genügend hervor (Abb. 226).

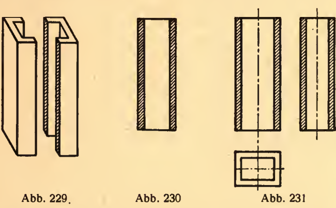


Abb. 229. Abb. 230 Abb. 231

Ein enges Schraffen (Abb. 227) ist zu zeitraubend. In älteren Zeichnungen findet man mitunter noch für verschiedene Werkstoffe verschiedene Formen des Schraffens, z. B. für Gußeisen ein Schraffen mit weitem Linienabstand, für Temperguß je zwei Linien, bei Stahlguß je drei Linien eng

nebeneinander. Dieses Verfahren ist überholt, weil es sich für die Kennzeichnung der vielen heute gebräuchlichen Werkstoffe nicht mehr anwenden läßt. Die Art des Werkstoffes wird vielmehr im Schriftfeld oder in der Stückliste der Zeichnung angegeben. Für alle Metalle ist daher die einfache Form des Schraffens unter 45° anzuwenden. Lediglich für nichtmetallische Werkstoffe ist die Andeutung der Stoffart zulässig. (Beispiele siehe Abb. 228.)

Kehren wir nun zu unserer Hohlsäule zurück. Wir wollen auch den Seitenriß als Schnitt darstellen. Wir betrachten die Hohlsäule von links und denken sie uns senkrecht zur Blickrichtung geschnitten (Abb. 229). Das Erbegnis ist in Abb. 230 dargestellt.

Abb. 231 zeigt uns Aufriß, Grundriß und Seitenriß der Hohlsäule in normgerechter Zusammenstellung. Da es sich um einen symmetrischen Körper handelt, zeichnen wir auch die Mittellinien ein. Die Mittellinien im Grundriß geben gleichzeitig auch die Stellen an, an denen wir uns die senkrechten Schnitte geführt gedacht haben, und zwar deutet die waagerechte Mittellinie an, wo der im Aufriß dargestellte Schnitt liegt; die senkrechte Mittellinie gibt die Stelle an, an welcher der im Seitenriß dargestellte Schnitt liegt.

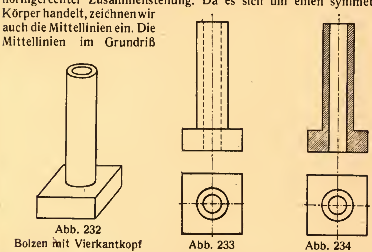


Abb. 232
Bolzen mit Vierkantkopf

Abb. 233

Abb. 234

Zur weiteren Übung wollen wir noch einen durchbohrten Bolzen mit Vierkantkopf (Abb. 232) darstellen.

Abb. 233 zeigt uns den Bolzen in Vorderansicht und Draufsicht.

In der Vorderansicht müssen wir die Bohrung, da sie unsichtbar ist, gestrichelt zeichnen. Denken wir uns den Bolzen senkrecht von oben nach unten aufgeschnitten, so erscheint uns die Bohrung sichtbar. Abb. 234 zeigt uns den Aufriß im Schnitt. Wir wollen nun den Bolzen mit Maßen versehen. Dazu überlegen wir zuerst, welche Maße zu seiner Herstellung notwendig sind.

Wir stellen den Bolzen her, indem wir ein Stück Vierkantstahl in die Drehbank einspannen, auf die Länge des zylindrischen Teils abdrehen

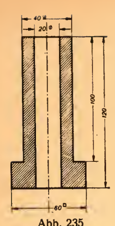


Abb. 235

und dann die Bohrung in der geforderten Stärke ausbohren. Wir müssen also wissen, wie stark das Vierkant sein muß und wie lang der gesamte Körper werden soll. Ferner muß angegeben werden, auf welche Stärke und Länge der zylindrische Teil abgedreht werden soll und schließlich, wie groß der Durchmesser der Bohrung werden soll. Demgemäß ergibt sich die Bemaßung des Körpers nach Abb. 235. Dadurch, daß wir die runden Teile durch das Durchmesserzeichen und den quadratischen Teil durch das Quadratzeichen kenntlich machen, erübrigt sich eine weitere Ansicht des Körpers. Der Bolzen ist durch Abb. 235 eindeutig festgelegt.

Fassen wir zum Schluß noch einmal das Wichtigste über die Darstellung eines Körpers im Schnitt zusammen:

1) Hohle Körper werden im Schnitt dargestellt, um die inneren Teile deutlicher darstellen und erkennen zu können.
2) Der Schnitt wird senkrecht zur Blickrichtung geführt, bei symmetrischen Körpern durch die Mitte.
3) Die Schnittflächen, d. h. die Flächen, die beim Aufschneiden des Werkstoffes sichtbar werden würden, sind zu schraffen.
4) Das Schraffen geschieht durch dünne Linien unter 45° zur Grundlinie oder Achse des Körpers.
5) Der Abstand der Schraffen richtet sich nach der Größe der Skizze. Er beträgt im allgemeinen 1 bis 3 mm.

Übungsaufgaben

24) und 25) Skizzieren Sie den Bolzen mit Vierkantloch (Abb. 236) und die Mitnehmerscheibe (Abb. 237)! Die Skizzen sind zu bemaßen! Die in den Abb. 236 und 237 angegebenen Maße gelten als Anhaltswerte für die übrigen Maße.

Bohrung durchgehend 10 mm ⌀

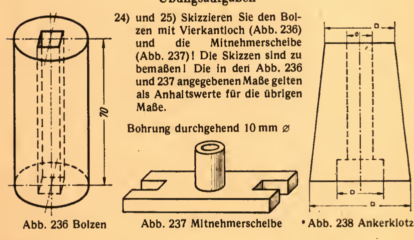


Abb. 236 Bolzen Abb. 237 Mitnehmerscheibe • Abb. 238 Ankerklotz

26) Skizzieren Sie von dem in Abb. 238 dargestellten Ankerklotz den Aufriß im Schnitt und den Grundriß!

27) Skizzieren Sie von der in Abb. 239 in Vorder- und Seitenansicht dargestellten Führungsplatte den Aufriß und Seitenriß im Schnitt sowie die Draufsicht!



Abb. 239 Führungsplatte

Teile, die nicht geschnitten werden

Wir wollen die in Abb. 240 skizzierte Buchse mit zwei Verstärkungsrippen zeichnen.

In Abb. 241 sehen wir die Buchse in Vorderansicht und Draufsicht eindeutig dargestellt. Die Buchse ist ein hohler Körper. Um ihre Wandstärke deutlich hervortreten zu lassen, zeichnen wir daher zweckmäßiger den Aufriß im Schnitt. Wir denken uns die Buchse senkrecht von oben nach unten in der Ebene $A-B$ aufgeschnitten und zeichnen, wie wir es im vorigen Abschnitt geübt haben, die hintere Hälfte der Buchse. Wir erhalten dann einen Aufriß der Buchse nach Abb. 242. Dieser Aufriß erweckt nun aber leicht den Eindruck, als ob der Teil *a* ebenso wie die übrige geschraffte Fläche volles, rund um die Buchse verlaufendes Material darstelle. Um eine solche Vorstellung zu vermeiden, wird nur das Material der eigentlichen Buchse geschrafft. Die in der Längsrichtung ebenfalls geschnittenen Rippen werden dagegen, um sie deutlich als Rippen in Erscheinung treten zu lassen, nicht geschrafft. Abb. 243 zeigt die

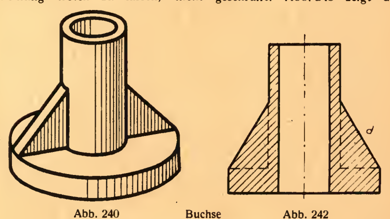


Abb. 240 Buchse Abb. 242

normgerechte und zweckmäßigste Darstellung einer solchen Buchse mit zwei Verstärkungsrippen.

Merke: Führt ein Schnitt längs durch eine Rippe, so wird die Rippe nicht geschrafft, sondern in Ansicht gezeichnet.

In Abb. 244 sehen wir eine Riemenscheibe mit vier Armen dargestellt. Der Aufriß ist im Schnitt gezeichnet, um die Stärke des Radkranzes und der Nabe deutlich hervortreten zu lassen. Der Schnitt *A—B* führt längs

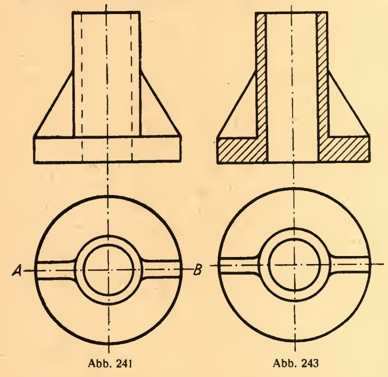


Abb. 241 Abb. 243

durch die Arme. Arme werden, ebenso wie Rippen, wenn sie in der Längsrichtung geschnitten werden, nicht geschrafft, sondern in Ansicht gezeichnet.

Auf der Antriebswelle eines Elektromotors haben Sie schon kleinere Riemenscheiben gesehen, die nicht mit Armen, sondern voll ausgeführt sind (Abb. 245). Vergleichen Sie den Aufriß dieser Scheibe mit dem Aufriß in Abb. 244! Sie erkennen sofort aus Abb. 245 eine volle Scheibe und aus Abb. 244 eine Scheibe mit Armen.

Beachten Sie in Abb. 245 auch noch, daß die Schraffung dort unterbrochen ist, wo eine Maßzahl steht! Denn durch eine Maßzahl darf niemals eine Linie gehen.

Abb. 244 Riemenscheibe mit Armen

In Abb. 246 sehen Sie einen Schnitt durch eine Nietverbindung. Die Lage des Schnittes ist durch die Buchstaben *A—B* angegeben. Der Schnitt ist mitten durch die Nieten geführt, um die Form und Stärke der Nieten deutlich erkennen zu lassen. Auch Nieten werden, wenn sie in der

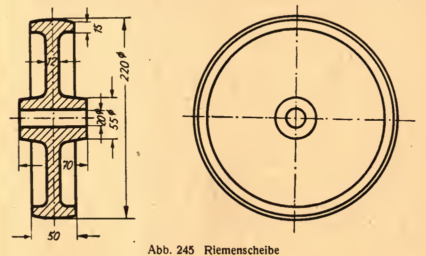


Abb. 245 Riemenscheibe

Längsrichtung geschnitten werden, nicht geschrafft, sondern in Ansicht gezeichnet.

In Abb. 246 fällt uns ferner auf, daß das U-Eisen anders geschrafft ist als das aufgenietete Flacheisen. Durch die entgegengesetzt gerichtete Schraffung erkennen wir deutlich, daß zwei verschiedene Körper zusammengenietet sind.

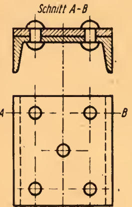


Abb. 246 Nietverbindung

Merke: Schnittflächen verschiedener aneinanderstoßender Körper sind verschieden gerichtet oder verschieden weit zu schraffen.

Abb. 247 zeigt uns eine Welle, die in zwei Lagerböcken gelagert ist. Der Schnitt A—B ist geführt worden, um das Innere des Lagerauges und die Lagerbuchsen einwandfrei erkennen zu können. Obwohl der Schnitt längs durch die Welle geht, ist sie in Ansicht gezeichnet.

In der Seitenansicht ist der Schnitt quer zur Welle geführt und die gedachte Schnittfläche C—D geschrafft. Man kann den Seitenriß auch in Ansicht darstellen (Abb. 248). Die Welle tritt dann aber nicht deutlich hervor.

Achten Sie wieder darauf, daß der Lagerbock und die Buchse entgegengesetzt geschrafft sind, weil es zwei verschiedene Körper sind, die aneinanderstoßen. Jedoch sind der linke und der rechte Lagerbock gleichgerichtet geschrafft. Sie sind zwei verschiedene Körper, stoßen aber nicht aneinander.

Wir fassen noch einmal zusammen:

Rippen, Arme, Nieten, Schrauben, Wellen und ähnliche Körper werden, wenn ein Schnitt in der Längsrichtung durch sie führt, nicht geschrafft, sondern in der Ansicht dargestellt.

Wird jedoch durch sie der Schnitt in der Querrichtung geführt, so sind sie zu schraffen.

Schnittflächen verschiedener aneinanderstoßender Körper sind verschieden gerichtet oder verschieden weit zu schraffen.

Wo eine Maßzahl steht, ist die Schraffung zu unterbrechen.

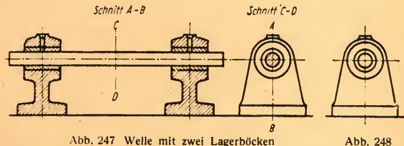


Abb. 247 Welle mit zwei Lagerböcken

Abb. 248

Übungsaufgaben

28) Zeichnen Sie von dem Fußlager (Abb. 249) den Aufriß im Schnitt und die Draufsicht! Die in den Skizzen angegebenen Maße gelten als Anhaltswerte für die übrigen Maße.

29) Eine Nietverbindung nach Abb. 250 ist in Aufriß (Längsansicht) und Seitenriß (Schnitt *A—B*) zu zeichnen.

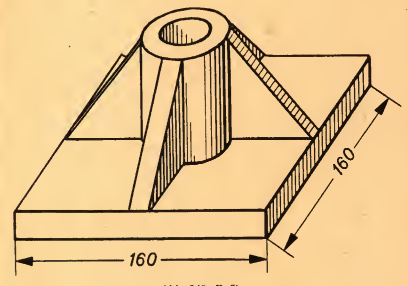


Abb. 249 Fußlager

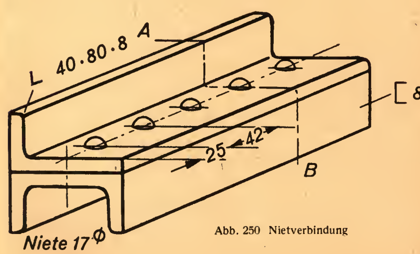


Abb. 250 Nietverbindung

Teilschnitt, Halbschnitt-Halbansicht, Schnittverlauf und Bruchlinie

In Abb. 251 sehen wir einen Steckschlüssel in Ansicht. Das untere Ende ist jedoch im Schnitt gezeichnet, um den vierkantigen Hohlraum deutlich in Erscheinung treten zu lassen. Einen solchen Schnitt nennt man einen Teilschnitt.

Merke: Der Teilschnitt wird von der Ansicht durch eine Bruchlinie getrennt. Die Bruchlinie wird dünner als die sichtbaren Kantenlinien gezeichnet. Sie wird immer, auch in Reinzeichnungen, freihändig, jedoch nicht übertrieben unregelmäßig gezogen.

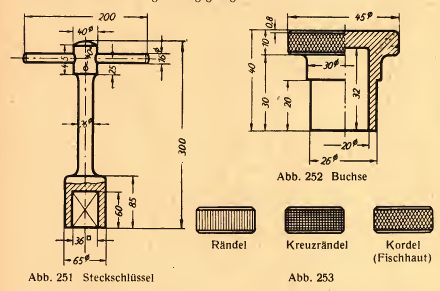


Abb. 252 Buchse

Abb. 251 Steckschlüssel

Abb. 253

Die Buchse (Abb. 252) ist halb im Schnitt, halb in Ansicht gezeichnet. Die rechte Hälfte der Skizze zeigt uns deutlich das Innere der Buchse; aus der linken Hälfte ersehen wir, daß der Bund der Buchse außen gekordelt werden soll. Da der Schnitt durch die Mittellinie begrenzt ist, wird keine besondere Bruchlinie gezeichnet. Der Hohlraum ist aus dem halben Schnitt eindeutig zu erkennen, weil die Mittellinie darauf hinweist, daß der Körper symmetrisch, d. h. auf beiden Seiten gleichmäßig ist. Es erübrigt sich also, den Hohlraum auf der Ansichtsseite (linke Hälfte der Abb. 252) noch weiter durch gestrichelte Linien zu kennzeichnen.

Der Innendurchmesser der Buchse erhält nur auf der Schnittseite einen Maßpfeil. Die Maßlinie muß aber über die Mittellinie noch etwas hinausgeführt werden. Alle Innenmaße sind auf der Schnittseite, alle Außenmaße sind auf der Ansichtsseite anzubringen.

Merke: Die Darstellung eines Körpers halb im Schnitt, halb in Ansicht wird bei hohlen symmetrischen Körpern angewendet, um aus einem Riß sowohl die innere als auch die äußere Bearbeitung erkennen zu können. Der Schnitt wird durch die Mittellinie begrenzt.

Die netzförmige Schraffung des Bundes sagt uns, daß die Oberfläche gekordelt werden soll. Die verschiedenen Arten der Oberflächenbearbeitung durch Rändeln oder Kordeln ersehen wir aus Abb. 253.

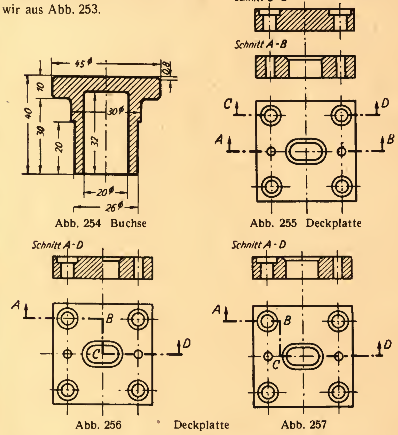


Abb. 254 Buchse

Abb. 255 Deckplatte

Abb. 256 Deckplatte Abb. 257

Abb. 254 zeigt uns eine ähnliche Buchse wie die in Abb. 252. Der Bund ist jedoch nicht gekordelt. Die Darstellung, halb Schnitt halb Ansicht, erübrigt sich, weil aus Abb. 254 sowohl die innere als auch die äußere Form der Buchse eindeutig hervorgeht.

Abb. 255 zeigt uns eine Deckplatte mit verschiedenartigen Löchern. Um die Form aller Löcher klar erkennen zu können, sind zwei Schnitte durch die Platte geführt worden. Die Stellen, an denen die Schnitte gedacht sind,

sind im Grundriß durch kurze, kräftige Strichpunktlinien angedeutet. An den Enden dieser Linien sind Pfeile in der Blickrichtung auf die gedachten Schnitte angebracht. Ferner sind die einzelnen Schnitte durch die Buchstaben *A—B* und *C—D* gekennzeichnet.

Beide Schnitte können zu einem knickförmigen Schnitt vereinigt werden (Abb. 256). Der Schnittverlauf ist im Grundriß durch kurze, kräftige Strichpunktlinien und durch die großen Buchstaben *A—B—C—D* hervorgehoben. Die Blickrichtung auf den darzustellenden Schnitt ist durch Pfeile angegeben.

Der Schnitt kann auch so geführt werden, wie Abb. 257 zeigt. Beide Schnittführungen sind richtig.

Die Schraffung nimmt auf die Knickstellen des Schnittverlaufs keine Rücksicht; sie wird rechts und links der Knickstelle gleichmäßig durchgeführt. Keinesfalls darf im Schnitt an der Knickstelle eine Kante eingezeichnet werden (Abb. 258), da der Knick an der Stelle *C* nur gedacht ist. In Wirklichkeit befindet sich an dieser Stelle keine Kante.

falsch !

Abb. 258

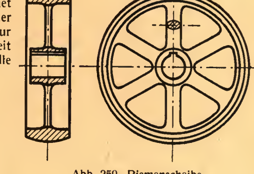


Abb. 259 Riemenscheibe

Merke: Ist der Verlauf eines Schnittes durch einen Körper nicht ohne weiteres ersichtlich, so wird er durch kurze, kräftige Strichpunktlinien angedeutet. An den Enden dieser Linien sind Pfeile in der auf den darzustellenden Schnitt gerichteten Sehrichtung anzubringen. Sind mehrere Schnitte für einen Körper erforderlich oder ist der Verlauf eines Schnittes nicht übersichtlich, so sind die einzelnen Schnitte oder der Schnittverlauf mit großen Buchstaben zu kennzeichnen.

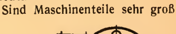
In Abb. 259 sehen wir eine Riemenscheibe, deren Arme einen ellipsenförmigen Querschnitt haben. Die Ellipsenform ist weder aus dem Aufriß noch aus dem Seitenriß zu erkennen. Um einen weiteren Schnitt durch die Riemenscheibe zu ersparen, denken wir uns einen Arm an einer Stelle durchgeschnitten. Der hierdurch entstehende Querschnitt wird um 90° herumgeklappt gedacht und in dünnen Linien in den Arm eingezeichnet. Die kleine waagerechte Mittellinie in diesem Schnitt ist erforderlich, weil die Ellipse eine symmetrische Fläche ist.

Merke: Um eine weitere Ansicht oder einen Schnitt zu sparen, kann der Querschnitt (das Profil) eines länglichen Körpers in seiner Ansicht mit dünnen Linien eingezeichnet werden.

In Abb. 260 sehen wir einen Rohrkrümmer, dessen oberer Flansch schräg zur Grundfläche steht. Um die Form des Flansches deutlich erkennbar zu machen, führen wir den Schnitt schräg zur Grundfläche, jedoch parallel zur Kante des Flansches. Würden wir den Krümmer in der üblichen Weise in Aufriß und Grundriß oder Seitenriß zeichnen, so würde der obere Flansch verzerrt erscheinen (Abb. 261).

Merke: Schnitte parallel zu schräglaufenden Kanten sind anzuwenden, wenn hierdurch ungünstige Verkürzungen der Darstellung vermiedenwerden.

Sind Maschinenteile sehr groß



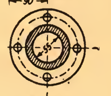


Abb. 260 Rohrkrümmer

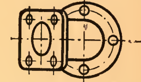


Abb. 261 Grundriß zu Abb. 260 falsch!

und verlaufen in längerer Ausdehnung gleichförmig, so kann man sie zwecks Platzersparnis verkürzt — abgebrochen — zeichnen (Abb. 262).

Der dazwischenliegende Teil wird nicht mitgezeichnet. Die Maßzahl gibt aber die ganze Länge des Werkstückes an. Die Bruchlinien werden dünn und freihändig gezeichnet.

Die Bruchlinien für Holz (Abb. 263) zeigt eine starke Zickzackform. (Splitterwirkung beim Abbrechen von Holz.) Die Bruchlinie voller Rundkörper ist nach Abb. 264 in Schleifenform zu zeichnen. Der sichtbar gedachte Teil der Bruchflächen ist einmal nach oben und einmal nach unten zu verlegen.

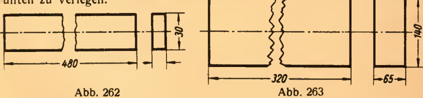


Abb. 262

Abb. 263

Rohre und Drehteile mit Bohrungen erhalten, wenn sie in Ansicht (Abb. 265 a) gezeichnet sind, eine Bruchlinie in doppelter Schleifenform; im Schnitt (Abb. 265 b) dagegen nur eine einfache Bruchlinie.

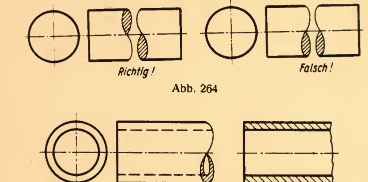


Abb. 264

Abb. 265

Übungsaufgaben

30) Zeichnen Sie zum Aufriß der Buchse (Abb. 266) den Grundriß!

31) Zeichnen Sie zu dem in Abb. 267 dargestellten Einsatz den Aufriß im Schnitt, den Seitenriß und den Grundriß in Ansicht!

40□
25□
50
65
15⌀

Abb. 266 Buchse

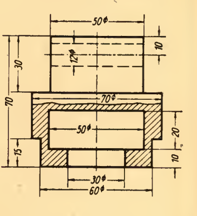


Abb. 267

32) Zeichnen Sie zum Aufriß und Seitenriß der Flacheisenschiene (Abb. 268) den Schnitt *A—D*! Geben Sie im Aufriß die Lage des Schnittes *E—F* an!

33) Zeichnen Sie zum Aufriß der Welle (Abb. 269) die Draufsicht und die Seitenansicht!

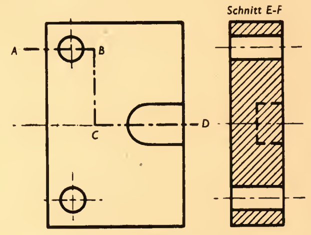


Abb. 268 Flacheisenschiene

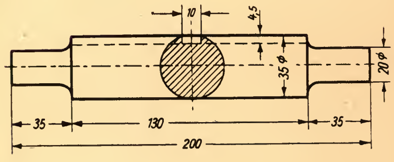


Abb. 269 Welle

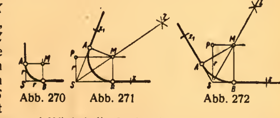
Hilfskonstruktionen beim Zeichnen

Sie wissen, daß im Maschinenbau bei Wellen, Gußkörpern, Schrauben usw. oft Abrundungen angewendet werden. Abrundungen vermindern die Bruchgefahr, erhöhen die Festigkeit und erleichtern die Herstellung von Bauteilen. In Skizzen zeichnet man die Abrundungen freihändig, auf

Zeichnungen müssen sie genau ausgeführt werden, damit der Übergang zwischen Kanten und Abrundungsbogen nicht abgesetzt oder eckig erscheint, sondern glatt verläuft.

Wie findet man den Mittelpunkt eines Abrundungsbogens?

1) Abrundung rechtwinkliger Kanten (Abb. 270). Man verlängert die Kanten bis zum Schnittpunkt *S*, trägt den Halbmesser *r* des zu schlagenden Kreisbogens auf den Kanten *A* und *B* ab. Mit Hilfe von Reißschiene und Winkel errichtet man in *A* und *B* die Senkrechten; der Schnittpunkt *M* ist dann der Mittelpunkt des Kreisbogens. *A* und *B* sind die Übergangspunkte vom Kreisbogen zu den Kanten.
2) Abrunden von Kanten, die sich im spitzen Winkel schneiden (Abb. 271). Man verlängert die Kanten bis zum Schnittpunkt *S* und halbiert den spitzen Winkel. Hierzu trägt man vom Punkt *S* aus eine gleiche Strecke auf den beiden Schenkeln bis *X* und X_1 ab. Mit einer beliebigen Zirkelöffnung schlägt man um die Punkte *X* und X_1 Kreisbögen, die sich im Punkte *Z* schneiden. Die Linie *S* bis *Z* teilt den spitzen Winkel in zwei Hälften. In *S* errichtet man mit


Abb. 270 Abb. 271 Abb. 272

Hilfe von Reißschiene und Winkel die Senkrechte $SP = r$ und zieht durch *P* eine Parallele zu *SX*. Der Schnittpunkt der Parallelen mit der Winkelhalbierenden ist der gesuchte Mittelpunkt *M*.

Die Übergangspunkte *A* und *B* werden dadurch gefunden, daß man von *M* aus Lote (Senkrechte) auf die Kanten fällt.
3) Abrundung von Kanten, die sich im stumpfen Winkel schneiden (Abb. 272). Man verlängert die Kanten bis zum Schnittpunkt *S*. Den stumpfen Winkel halbiert man in der gleichen Weise wie den spitzen Winkel (Abb. 271). Alsdann errichtet man in *S* das Lot $SP = r$ und zieht durch *P* eine Parallele zu *SX*. Die Parallele schneidet sich mit der Winkelhalbierenden in *M*. Der Punkt *M* ist der Mittelpunkt des Abrundungsbogens. Die Übergangspunkte *A* und *B* werden in der gleichen Weise durch Fällen von Loten von *M* aus gefunden.
4) Wie Sie wissen, befinden sich an Sechskantschrauben Abfasungskurven, die als Kreisbögen gezeichnet werden. Wie findet man deren Mittelpunkte?

Um den Mittelpunkt der Abfasungskurve der mittleren Sechskantfläche (Abb. 273) zu finden, nimmt man die Entfernung $\frac{3}{4}e$ in den Zirkel und schlägt um den Punkt *K* einen Kreisbogen, der die Mittellinie der Schraube im Punkte *M* schneidet.

Um die Mittelpunkte M_1 und M_2 der Abfasungskurven der äußeren Sechskantflächen zu finden, verlängert man die mittlere Abfasungs-

kurve bis zum Punkt Y und zieht durch ihn die Parallele $Y—Z$ zur Grundlinie. Mit r als Halbmesser schlägt man um X und X_1 Kreisbögen, die die gezogene Parallele in M_1 bzw. M_2 schneiden.

Um die Mittelpunkte der im Seitenriß entstehenden Abfasungskurven zu finden, schlägt man um die Punkte A und B mit einer beliebigen, nicht zu kurzen Zirkelöffnung je einen Kreisbogen nach oben und unten. Die Schnittpunkte der Kreisbögen ergeben die Punkte C und C_1. Auf dieser Mittelsenkrechten trägt man die Strecke $HM_3 = \frac{e}{2}$ ab. M_3 ist der gesuchte Mittelpunkt.

Die Linie CC_1 ist die Mittelsenkrechte (Mittellot) auf AB.

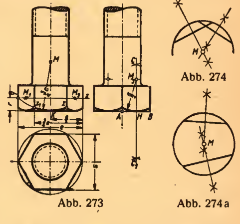


Abb. 273 Abb. 274 Abb. 274a

5) Beim Aufreißen von Kreisbögen oder Kreisen auf Papier, auf Holz oder einer Blechtafel kommt es öfter vor, daß man den Mittelpunkt verloren hat. Wie findet man den Mittelpunkt zu einem vorhandenen Kreisbogen?

Man legt zwei Sehnen in den Kreisbogen (Abb. 274) oder Kreis (Abb. 274a) und errichtet auf beiden Sehnen die Mittellote. Der Schnittpunkt der beiden Mittellote ist der gesuchte Mittelpunkt M des Kreises bzw. Kreisbogens.

B. *Von den Maschinenteilen*

Gewinde und Gewindedarstellung

Maschinenteile können auf verschiedene Weise miteinander verbunden werden. Es gibt lösbare und unlösbare Verbindungen. Unlösbare Verbindungen von Maschinenteilen werden durch Nieten oder Schweißen hergestellt. Sollen diese Maschinenteile wieder getrennt werden, so muß die Niet- oder Schweißverbindung zerstört werden. Lösbare Verbindungsmittel sind Schrauben und Keile.

Es gibt Bewegungs- und Befestigungsschrauben. Bewegungsschrauben sind solche Schrauben, mit denen irgendeine Bewegung hervorgerufen werden soll. Bewegungsschrauben wenden wir an z. B. bei der Leitspindel der Drehbank, bei der Ventilspindel und anderen. Befestigungsschrauben dienen zur festen Verbindung von Maschinenteilen.

Je nach ihrem Verwendungszweck ist die Gewindeart der Schrauben verschieden. Im Maschinenbau sind folgende Gewindearten üblich: Spitzgewinde, Flachgewinde[1], Trapezgewinde, Sägengewinde und Rund- oder Kordelgewinde (Abb. 275).

a) b) c) d) e)

Abb. 275. a) Spitzgewinde, b) Flachgewinde, c) Trapezgewinde, d) Sägengewinde, e) Rund- oder Kordelgewinde

Befestigungsschrauben müssen Spitzgewinde bekommen, damit sich die Gewindegänge des Bolzens und der Mutter fest ineinanderpressen. Als Spitzgewinde sind das Whitworth-Gewinde und das metrische Gewinde gebräuchlich. Das Whitworth-Gewinde hat einen Spitzenwinkel von 55°, beim metrischen Gewinde ist der Spitzenwinkel 60°. (Näheres siehe Technische Tabellen, S. 18 und 19.) Heute verwendet man im Maschinenbau tunlichst das metrische Gewinde.

Würde man Bewegungsschrauben mit Spitzgewinde versehen, so wären zur Bewegung der Maschinenteile zu große Kräfte erforderlich, weil das Spitzgewinde große Reibung hervorruft. Bewegungsschrauben müssen daher mit flacherem Gewinde hergestellt werden (Arten b bis e der Abb. 275).

Die Schraube trägt das Außengewinde (Bolzengewinde), die Mutter trägt das Innengewinde (Muttergewinde).

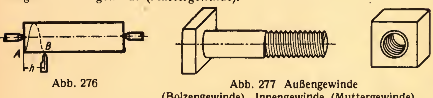


Abb. 276

Abb. 277 Außengewinde (Bolzengewinde), Innengewinde (Muttergewinde)

Das Gewinde stellen wir entweder von Hand mittels Gewindekluppe bzw. Gewindebohrer oder mittels Gewindeschneidstählen auf der Drehbank her, indem wir Kerben in das Material einschneiden. Hat sich der Bolzen beim Drehen (Abb. 276) einmal um seine Achse gedreht, so ist die Schraubenlinie um das Stück *A* bis *B* gestiegen. Diesen Höhenunterschied *h* von Gang zu Gang nennt man „Steigung“ oder „Ganghöhe“.

Um zwei Rohrflansche miteinander zu verbinden, brauchen wir Schrauben mit Muttern. Oft sitzt das Muttergewinde in einem der zu verbindenden Bauteile, man verwendet dann Schrauben ohne Muttern. Wenn wir also Schrauben anzufordern haben, müssen wir immer angeben, ob wir Schrauben mit oder ohne Muttern haben wollen.

In Abb. 277 sehen wir eine Vierkantschraube mit Vierkantmutter.

[1] Das Flachgewinde findet man zwar noch oft, es ist aber nicht genormt. Es soll nach Möglichkeit durch das Trapezgewinde ersetzt werden.

Soll eine Schraube zeichnerisch dargestellt werden, so ist es unzweckmäßig und zeitraubend, die Kanten aller Gänge einzeln wie in Abb. 277 zu zeichnen. Man hat daher eine einfachere, sinnbildliche Darstellungsart eingeführt, die uns Abb. 278 zeigt.

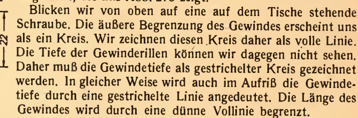


Abb. 278 Vierkantschraube

Blicken wir von oben auf eine auf dem Tische stehende Schraube. Die äußere Begrenzung des Gewindes erscheint uns als ein Kreis. Wir zeichnen diesen Kreis daher als volle Linie. Die Tiefe der Gewinderillen können wir dagegen nicht sehen. Daher muß die Gewindetiefe als gestrichelter Kreis gezeichnet werden. In gleicher Weise wird auch im Aufriß die Gewindetiefe durch eine gestrichelte Linie angedeutet. Die Länge des Gewindes wird durch eine dünne Vollinie begrenzt.

Für die Anfertigung eines Gewindes benötigen wir drei Angaben:
1) die Art des Gewindes (Whitworth- oder metrisches Gewinde),
2) die Stärke des Gewindes (Gewindedurchmesser)[1],
3) die Länge des Gewindes.

Diese drei Angaben gehen aus den Maßangaben der Abb. 278 hervor. Der Buchstabe *M* besagt, daß ein metrisches Gewinde geschnitten werden soll. Die Zahl 10 gibt an, daß der Gewindedurchmesser 10 mm stark ist. Das sonst bei runden Körpern erforderliche Durchmesserzeichen läßt man bei Gewindemaßen fort, weil ein Gewinde immer kreisrund ist. Aus dem Gewindedurchmesser ergibt sich ohne weiteres, daß der Schaft auch 10 mm stark ist. Soll das Gewinde von Hand geschnitten werden, so nimmt man eine Kluppe, auf der sich ebenfalls die Bezeichnung *M* 10 befindet. Soll das Gewinde auf der Drehbank geschnitten werden, so wird die Form des Schneidstahles mit Hilfe einer Lehre *M* 10 hergerichtet. Liegen diese Maße eines Gewindes fest, so ergeben sich alle anderen Maße zwangsläufig aus der Normung (siehe Technische Tabellen, S. 19). Wie weit das Gewinde auf den Schaft geschnitten werden soll, geht aus der Zahl 22 hervor.

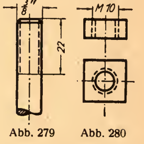


Abb. 279 Abb. 280

Soll die Schraube mit normalem Whitworth-Gewinde[2] versehen werden, so wird der Gewindedurchmesser ohne besonderes Kurzzeichen in Zoll angegeben, z. B. $^3/_8$" (Abb. 279). Die Länge des Gewindes wird wie beim metrischen Gewinde in mm angegeben.

Beachten Sie, daß beim Übergang des Schaftes zum Schraubenkopf eine Ausrundung, eine sogenannte Hohlkehle, vorhanden ist! Denn scharfkantige Übergänge sind stets zu vermeiden, weil durch scharfe Ecken die Festigkeit des Werkstückes vermindert wird.

[1] Merke: Der Gewindedurchm. ist immer der Außendurchm. Gewindes.
[2] Das Whitworth-Gewinde stammt aus England, daher die Maßangabe in Zoll.

Um das Gewinde am Ende der Schraube beim Einführen in die Mutter oder beim Anziehen gegen Beschädigungen zu schützen, wird das Schraubenende mit einem kleinen Ansatz versehen.

Die normgerechte Darstellung einer **Mutter** sehen wir in Abb. 280. Bevor eine Mutter mit Gewinde versehen werden kann, muß zunächst ein Loch von der Größe des Kerndurchmessers (≈ 8 mm, siehe Technische Tabellen, S. 19) gebohrt werden. In die Wandung dieses Loches werden die Gewinderillen eingeschnitten. Den Kernkreis zeichnen wir im Grundriß als Vollinie. Die in die Wandung eingeschnittenen Gewinderillen können wir, wenn wir die Mutter senkrecht von oben betrachten, nicht sehen. Wir müssen daher das Gewinde im Grundriß als gestrichelten Kreis einzeichnen. Blicken wir von vorn gegen die Mutter, so sehen wir weder die Kernlochwandung noch die Gewinderillen. Im Aufriß sind daher sowohl die Kernbohrung als auch die Gewindetiefe gestrichelt einzuzeichnen.

Abb. 281

Abb. 282

Vierkantschraube mit Mutter

Stellen wir den Aufriß im Schnitt dar (Abb. 281), so wird das Kernloch stark ausgezogen und die Gewindetiefe als gestrichelte Linie gezeichnet. Die Schraffen werden bis an die Vollinien durchgeführt.

Vergleichen wir die Darstellung des Gewindes beim Schraubenbolzen und bei der Mutter (Abb. 282). Beim **Außengewinde** (Bolzen) ist die **äußere** Linie voll gezeichnet, dagegen die innere Linie (Gewindetiefe) gestrichelt; beim **Innengewinde** (Muttergewinde) ist die **innere** Linie voll gezeichnet, dagegen die äußere Linie (Gewindetiefe) gestrichelt. Denken Sie an die Herstellung des Gewindes, so sehen Sie leicht ein, daß immer **die** Kante bzw. Wandung, die vor dem Einschneiden des Gewindes vorhanden ist, voll gezeichnet wird, das dann folgende Einschneiden des Gewindes dagegen gestrichelt angedeutet wird.

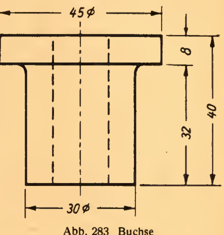


Abb. 283 Buchse

Art und Maß des Gewindes wird bei der Mutter genau so

angegeben wie beim Bolzengewinde (siehe Abb. 279 und 281). Das Maß bezieht sich also immer auf den äußeren Durchmesser.

Die Kopfhöhe ist bei normalen Schrauben $0{,}7 \cdot d$ ($d =$ Gewindeaußendurchmesser), die Mutterhöhe $0{,}8 \cdot d$. Die Schlüsselweite ist genormt, damit man mit möglichst wenig Schraubenschlüsseln auskommt. Aus der Tabelle (Technische Tabellen, S. 19) entnehmen wir, daß eine Schraube $M\,10$ 17 mm Schlüsselweite hat.

Übungsaufgaben

34) Zeichnen Sie eine Vierkantschraube und Mutter mit ¾"-Whitworth-Gewinde! Schaftlänge 80 mm, Gewindelänge 40 mm, Schlüsselweite 32 mm.
35) Die skizzierte Buchse (Abb. 283) ist innen mit Gewinde M 18 zu versehen. Zeichnen Sie die Buchse im Schnitt!

Schrauben und Schraubenverbindungen

Schrauben werden in der mannigfachsten Art angewendet. Je nach ihrem Verwendungszweck sind der Kopf, die Gewindeart und das Schaftende verschieden ausgeführt. Um in die vielfach irreführenden Bezeichnungen eine gewisse Ordnung zu bringen und eine einheitliche Benennung zu erreichen, sind die verschiedenen Schraubenarten genormt worden (DIN 918, Bl. 1 bis 3). Einen Auszug dieser DIN-Blätter sehen Sie in der nachstehenden Tabelle (Abb. 284). (Aus: Einführung in die Dinormen, herausgegeben von Zimmermann-Böddrich, 7. Aufl., 1939, S. 120.)

Die Benennung der Schrauben erfolgt nach der Ausführungsform, nicht nach dem Verwendungszweck, z. B. Sechskantschraube, nicht aber Druck- oder Stellschraube.

Auf einer Reihe weiterer DIN-Blätter finden wir die Einzelabmessungen aller üblichen Schrauben. So behandelt z. B. DIN 931 blanke Sechskantschrauben mit metrischem Gewinde für eine Mutter, DIN 932 die gleichen Schrauben mit einer Gewindelänge für 2 Muttern, DIN 601 rohe Sechskantschrauben, DIN 478 metrische Vierkantschrauben mit Bund, DIN 314 Flügelschrauben mit Whitworth-Gewinde, DIN 934 blanke Sechskantmuttern.

Blanke Schrauben werden aus gezogenem Material hergestellt und haben genauere Abmessungen als rohe Schrauben. Letztere werden im Gesenk geschmiedet; das Gewinde wird auf Automaten eingeschnitten.

Finden wir in einer Stückliste die Angabe:

Sechskantschraube $M\,10 \times 50$ DIN 931 St 37.12 z,

so ist dies eine Sechskantschraube mit metrischem Gewinde von 10 mm Außendurchmesser und 50 mm langem Schaft (Abb. 285). Aus DIN 931 geht hervor, daß das Gewinde 22 mm lang ist. St 37.12 z besagt, daß die Schraube aus blank gezogenem Stahl von 37 kg Zugfestigkeit gemäß DIN 1612 besteht.

Im allgemeinen werden Schrauben fertig im Handel bezogen. Normgerechte Bezeichnung nach folgendem Beispiel ist erforderlich, um die

richtigen Schrauben zu bekommen. Die weitaus am meisten gebrauchte Schraube ist die Sechskantschraube. Da sie sehr oft in Verbindung mit anderen Bauteilen gezeichnet werden muß, wollen wir alle Ansichten einer solchen Schraube in normgerechter Darstellung betrachten. Als Beispiel diene eine Schraube M 12, die in Abb. 286 im Maßstab 1 : 1 dargestellt ist.

Wir zeichnen zunächst den Grundriß. Der Außendurchmesser des Bolzens ist 12 mm. DerKerndurchmesser (gestrichelter Kreis) ist laut Technische Tabellen S. 19 ≈ 9,6 mm. Um die sechseckige Form des Kopfes richtig

Grundformen der Schrauben
Kopfschraube
Holzschraube
Bolzenschraube
Stiftschraube
Gewindestift
Stopfen
Druckschraube

Bedienungsformen zum Drehen
Rändel
Flügel
Knebel
Loch
Schlitz
Öse
Vierkant
Sechskant doppelfasig

Sechskantmuttern
Sechskant
einfasig
Flache Mutter
~0,7d
~0,5d
Bund
Kronen
Überwurf

Grundformen der Köpfe und Ansätze
Schaft
Zylinder
Halbrund
Flachrund
Linsen
Senk
Linsensenk
Kegelsenk
Bund

Halteformen gegen Drehen
V-Schlitz
Hammer
Vierkant
Sechskant
Spitznase
Kerb
Pratze

Beispiele
Gewindestift mit Spitze
Schaftschraube mit Zapfen
Gewindestift mit Vierkantansatz und Ringschneide
Rändelschraube mit Ansatzspitze
Vierkantschraube mit Zapfen
Flachrundschraube mit Hammeransatz
Vierkant holzschraube
Sechskantschraube mit Gewinde bis Kopf
Sechskantschraube mit Rille

Enden a) unbelastet
Kegelansatz
Linsenkuppe
Kernansatz
Splintzapfen

b) belastet (Druckschrauben)
Zapfen
Kegelzapfen
Spitze
Ansatzspitze

Abb. 284

Wiedergegeben mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses.
D 918 Bl. 1—3, Beuth-Vertrieb G. m. b. H., Berlin

darzustellen, zeichnen wir als Hilfskreis den umschriebenen Kreis. Auf diesem Kreise bewegen sich beim Anziehen der Schraube die Ecken des Kopfes. Der Durchmesser dieses umschriebenen Kreises, das sog. Eckenmaß (*e*) oder der Spitzkant, hängt von der Schlüsselweite ab. Das Eckenmaß *e* ist bei einem Sechskant immer $1{,}155 \cdot s$ (vgl. Technische Tabellen S. 18). *s* ist die Schlüsselweite. In der Tabelle S. 19 finden wir, daß zu einer Schraube *M* 12 eine Schlüsselweite von 22 mm ge-

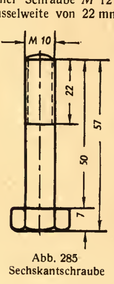


Abb. 285
Sechskantschraube

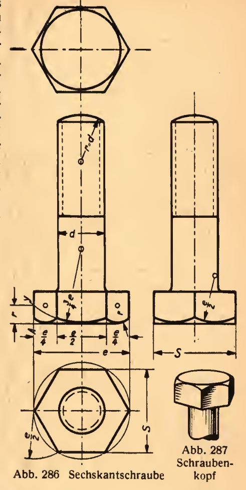


Abb. 286 Sechskantschraube

Abb. 287
Schraubenkopf

hört. Demnach ist $e = 1{,}155 \cdot s \approx 25$ mm, das ist angenähert gleich dem doppelten Gewindedurchmesser. Mit dem Halbmesser $\frac{25}{2}$ teilen wir den umschriebenen Kreis in 6 gleiche Teile ein. So können wir das Sechseck leicht zeichnen.

Aus dem Grundriß ergeben sich ohne weiteres die Abstände $\frac{e}{2}$ bzw. $\frac{e}{4}$ im Aufriß. Die mittlere Sechskantfläche erscheint uns in dieser Ansicht in wahrer Größe; die beiden äußeren Sechskantflächen erscheinen uns dagegen verkürzt, da sie schräg zur Blickrichtung von vorn stehen.

Aus der Praxis ist bekannt, daß der Schraubenkopf am äußeren Ende

nicht scharfkantig ist. Die Kanten sind gebrochen, man sagt auch abgefast (Abb. 287). Hierdurch entstehen an den Sechskantflächen Durchdringungskurven (ähnlich wie an einem sechskantigen Bleistift beim kegelförmigen Anspitzen mittels eines Bleistiftspitzers). Diese Durchdringungskurven zeichnet man der Einfachheit halber als Kreisbögen (Abb. 286). Den Halbmesser des mittleren Kreisbogens wählt man zu $\frac{3}{4}\,e$. Die Halbmesser r für die beiden äußeren Kurven findet man, indem man den mittleren Kreisbogen bis zur äußersten Kante verlängert. Der Abstand des Schnittpunktes Y von der unteren Kopffläche A ist dann das Maß für den Halbmesser r.

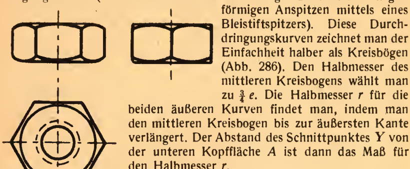


Abb. 288
Sechskantmutter

Blicken wir von unten gegen den Schraubenkopf, so sehen wir die Untersicht. In der Seitenansicht sehen wir vom Sechskant nur zwei Flächen. Sie stehen schräg zur Blickrichtung, erscheinen also verkürzt. Die Gesamtbreite bei den Flächen ist gleich der Schlüsselweite s. Die Durchdringungskurven werden als Kreisbögen mit dem Halbmesser $\frac{e}{2}$ gezeichnet.

Wie schon im vorigen Abschnitt erwähnt, ist das Gewindeende mit einem Ansatz versehen. In der Regel ist dieser Ansatz kuppenförmig (Linsenkuppe). Als Halbmesser der Kuppe nimmt man den Durchmesser d des Gewindes. Bei der Eintragung des Maßes für die Schaft- und Gewindelänge bleibt die Höhe der Kuppe unberücksichtigt, weil sich auf ihr keine tragenden Gewindegänge befinden (s. Abb. 285). Nur bei Selbstanfertigung von Schrauben müßte die Kuppenhöhe beim Gesamtmaß der Schraube berücksichtigt werden.

In Abb. 288 sehen wir eine Sechskantmutter dargestellt. Die Abfasungskurven werden mit denselben Halbmessern gezeichnet wie bei der Sechskantschraube.

Mitunter findet man auch in Zeichnungen, auf denen viele Schrauben dargestellt sind, Schrauben und Muttern vereinfacht ohne die Abfasungskurven dargestellt, um Zeichenarbeit zu sparen (Abb. 289). Jedoch sind die Schrauben leichter als solche zu erkennen, wenn die Abfasungskurven mitgezeichnet werden.

Abb. 289

Um eine einzelne Schraube eindeutig darzustellen, genügt die Vorderansicht. Die übrigen in Abb. 286 entwickelten Ansichten kommen in Zusammenstellungszeichnungen in Verbindung mit anderen Bauteilen vor.

36) Zeichnen Sie eine Sechskantschraube M 30 in Aufriß, Grundriß und Seitenriß! Gewindelänge 48 mm, Schlüsselweite (siehe Technische Tabellen. S. 19) 46 mm.

37) In den drei Ansichten der in Abb. 290 dargestellten 7/8″-Schraube sind mehrere Fehler. Zeichnen Sie die richtigen Ansichten!

In Abb. 291 sehen wir zwei Bleche miteinander verschraubt. Die Schaftlänge richtet sich nach der Gesamtstärke der zu verbindenden Bauteile. In DIN 931[1] finden wir die üblichen Schaftlängen von Sechskantschrauben *M* 12 angegeben. Danach wählen wir eine Schaftlänge von 45 mm. Die Durchgangslöcher sind für eine Schraube *M* 12 nach DIN 69 14 mm weit zu bohren.

Die Unterlegscheibe soll verhüten, daß durch das Anziehen der Mutter das Blech beschädigt wird. Unterlegscheiben sind genormt. Lesen wir in einer Stückliste

Scheibe 14 DIN 125 St 38.13,

so sagt uns diese Angabe, daß die Unterlegscheibe einen Lochdurchmesser von 14 mm hat und aus St 38.13 hergestellt ist. Die übrigen Abmessungen gehen aus DIN 125 hervor. In der Zeichnung brauchen die Maße der Unterlegscheibe wie auch der Mutter nicht eigens angegeben zu werden. Sie ergeben sich durch die Normung zwangsläufig und werden aus den DIN-Blättern entnommen. Aus dem gleichen Grunde werden Unterlegscheiben und Muttern gewöhnlich in Ansicht gezeichnet. Es erübrigt sich auch, das Gewinde in der Ansicht gestrichelt einzutragen.

Ist ein Profileisen zu verschrauben (Abb. 292), so werden Unterlegscheiben verwendet, deren untere Fläche entsprechend der Form des Profileisenflansches abgeschrägt ist (Abb. 293). Die

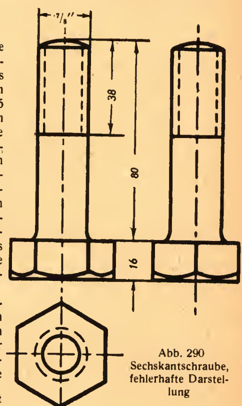


Abb. 290 Sechskantschraube, fehlerhafte Darstellung

[1] DIN 931 bedeutet: DIN-Blatt Nr. 931.

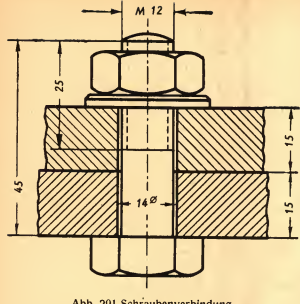


Abb. 291 Schraubenverbindung

Mutter hat dann eine gerade Auflagefläche. Solche Scheiben sind in DIN 434 für U-Träger und DIN 435 für I-Träger genormt.

Die Führungsplatte der Schnittvorrichtung (Abb. 294) ist mit der Grundplatte durch Zylinderschrauben verbunden. Das Muttergewinde in der Grundplatte (in Abb. 295) in größerem Maßstab dargestellt) entsteht auf folgende Weise: Wir bohren zunächst mit einem Spiralbohrer (Abb. 296) ein Loch, dessen Durchmesser gleich dem Kerndurchmesser des Gewindes ist (nach Technische Tabellen S. 19 4,7 mm ⌀). Am Ende des Sackloches entsteht entsprechend der Bohrerspitze ein Kegel. Der Schneidwinkel α eines Spiralbohrers ist 116°, $\sphericalangle \beta$ ist also 32°. Der Einfachheit halber zeichnet man die Kegelspitze immer unter 120°. Konstruiert man auf dem Reißbrett, so läßt sich $\sphericalangle \beta$ leicht mit dem 30°-Winkel zeichnen. In das Loch schneidet man mit dem Gewindebohrer (Abb. 297) das Gewinde ein. Die unteren Gänge werden nicht voll ausgeschnitten, sie tragen also nicht. Das Gewindeloch muß daher immer um einige mm tiefer angefertigt werden als das Gewinde des Schraubenbolzens reichen soll (s. Abb. 294 Maß 18 und 13). Soweit die Schraube in das Gewindeloch hineinragt, verdeckt sie das Muttergewinde. Achten Sie daher darauf, daß unterhalb des Bolzengewindes noch einige Gänge Muttergewinde dargestellt werden müssen!

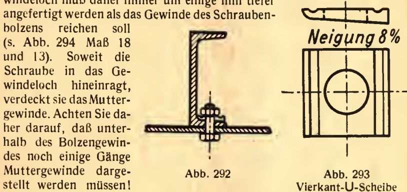


Abb. 292

Abb. 293 Vierkant-U-Scheibe

Schraubenschlitze werden in der Draufsicht (s. Abb. 294) immer schräg unter 45° gezeichnet, um sie deutlicher hervortreten zu lassen.

Wird sowohl das Bolzengewinde als auch das Muttergewinde im Schnitt dargestellt (Abb. 298), so wird, soweit sich beide überdecken, das Bolzengewinde allein dargestellt. Das Muttergewinde erscheint nur soweit, als es nicht vom Bolzengewinde verdeckt ist. Das Maß $R 4''$ besagt, daß das Gewinde ein Whitworth-Rohrgewinde ist. Abweichend von den übrigen Gewindearten bezieht sich beim Rohrgewinde die Maßzahl nicht auf den Außendurchmesser des Gewindes, sondern auf den lichten Rohrdurchmesser. (Vgl. Technische Tabellen, S. 18.) $R 4''$ bedeutet also: Whitworth-Rohrgewinde für ein Rohr von 4″ lichter Weite. Nach DIN 259 ist der äußere Gewindedurchmesser des Rohrgewindes $R 4''$ 113,0 mm, der Kerndurchmesser 110,1 mm, die Gewindesteigung $\frac{1}{11}''$, d. h. 11 Gänge auf 1″. Auf andere Gewindearten wie Feingewinde, Trapezgewinde usw. sowie Schraubensicherungen kommen wir im Zusammenhang mit späteren Aufgaben noch zurück.

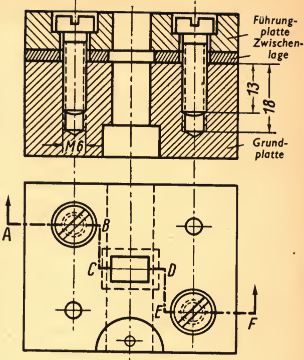


Abb. 294 Schnittvorrichtung

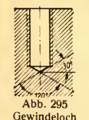


Abb. 295 Gewindeloch

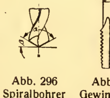


Abb. 296 Spiralbohrer



Abb. 297 Gewindebohrer

Übungsaufgaben

38) Zeichnen Sie zu Abb. 299 den Schnitt *A—B*! (Alle drei Bohrungen sind durchgehend.)

39) Die Spannvorrichtung (Abb. 300) ist an den durch Mittellinien gekennzeichneten Stellen durch Stiftschrauben und Unterlegscheiben und Muttern (Abb. 300a) zu verbinden. Zeichnen Sie die Verbindung! Der Aufriß ist im Schnitt, der Grundriß in Ansicht zu zeichnen.

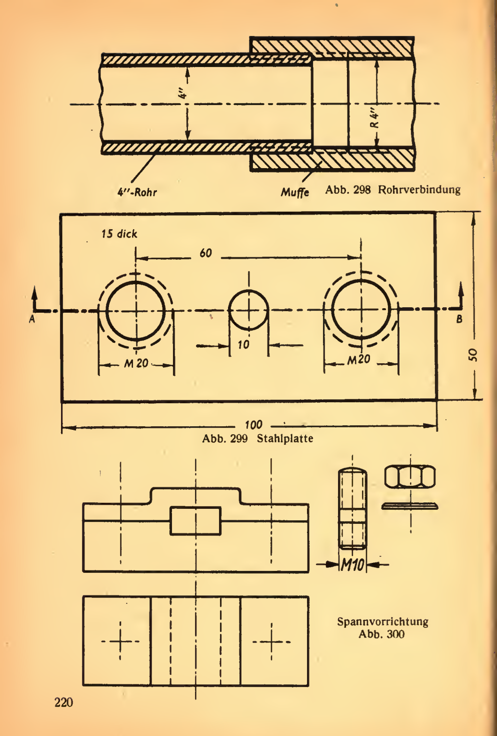


Abb. 298 Rohrverbindung

Abb. 299 Stahlplatte

Spannvorrichtung
Abb. 300

C. *Werkzeichnungen*

Zeichnerische Darstellung von Einzelteilen einer Bohrvorrichtung

Muttern werden im allgemeinen als Massenartikel hergestellt. Der Arbeitsvorgang muß bei Massenherstellungen möglichst kurz sein. Daher ist man bestrebt, alle Nebenarbeiten so weit wie möglich einzuschränken.

Sollen z. B. Flügelmuttern *M* 10 (Abb. 301) serienmäßig hergestellt werden, so ist es zu zeitraubend, die Bohrung für das Gewinde an jeder Mutter anzureißen. Mit Hilfe der in Abb. 302 dargestellten Bohrvorrichtung kann das Anreißen erspart werden.

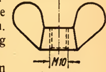


Abb. 301
Flügelmutter

Das Gehäuse der Bohrvorrichtung wird auf den Tisch der Bohrmaschine aufgespannt. In der Mitte des Gehäuses befindet sich eine senkrechte Bohrung *a*, die von oben kegelig ausgedreht ist. Außerdem ist ein Schlitz *b* von oben bis zum Flansch des Gehäuses eingefräst. Die kegelige Ausdrehung und der Schlitz nehmen die Flügelmutter auf, wie Abb. 302 zeigt. Mit Hilfe eines Deckels, der auf das Gehäuse aufgeschraubt werden kann, wird die Flügelmutter festgespannt. In der Mitte des Deckels befindet sich eine Bohrbuchse aus gehärtetem Werkzeugstahl. Durch diese Buchse wird der Bohrer eingeführt, so daß nunmehr die Flügelmutter, ohne vorher angerissen zu sein, genau zentrisch gebohrt werden kann.

Wir wollen nun die Bohrvorrichtung zeichnerisch so darstellen, wie dies für die Fertigung erforderlich ist. Man nennt solche Zeichnungen Werkzeichnungen. Oberflächenzeichen, Passungen und Toleranzen wollen wir der Einfachheit halber außer acht lassen. Wir werden erst in späteren Abschnitten darauf zu sprechen kommen.

Zweckmäßig wird man im vorliegenden Falle die Werkzeichnung im Maßstab 1 : 1 anfertigen. Wir wählen hierzu das DIN-Format A 3 (297 × 420). Bei der Anordnung der einzelnen Risse ist darauf zu achten, daß das Blatt gleichmäßig ausgefüllt wird. Die Risse dürfen nicht einerseits zusammengedrängt sein, während andere Flächen des Zeichenblattes leer bleiben.

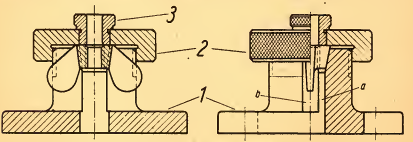
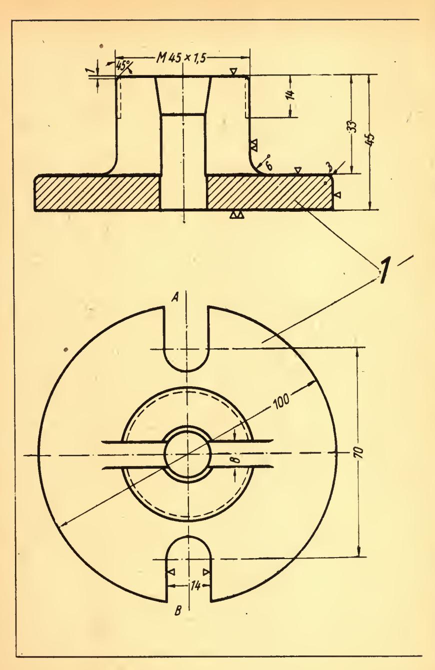
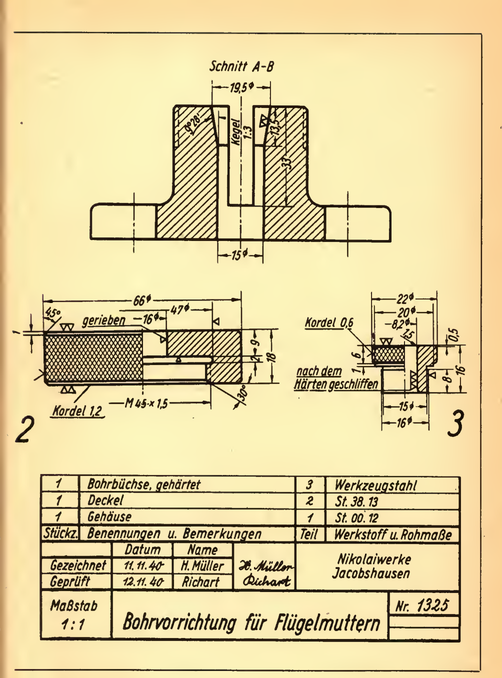


Abb. 302 Bohrvorrichtung

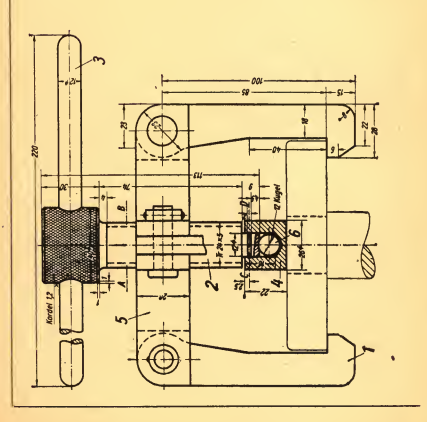

M 45 × 1,5
45°
1
14
33
45
6
3
1
A
100
70
8
14
B

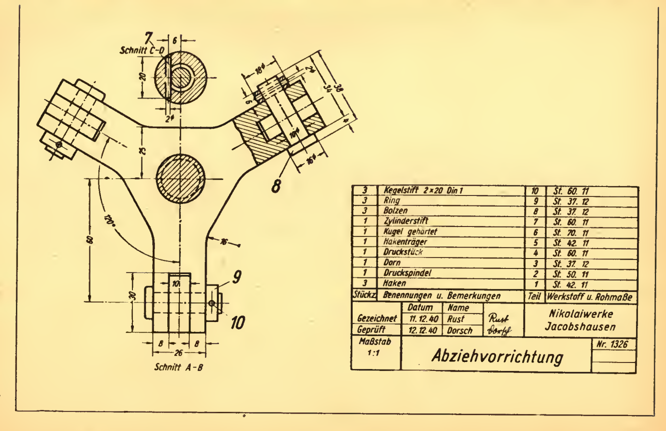


Stückz.	Benennungen u. Bemerkungen	Teil	Werkstoff u. Rohmaße
1	Bohrbüchse, gehärtet	3	Werkzeugstahl
1	Deckel	2	St. 38. 13
1	Gehäuse	1	St. 00. 12

	Datum	Name		
Gezeichnet	11. 11. 40	H. Müller	H. Müller	Nikolaiwerke Jacobshausen
Geprüft	12. 11. 40	Richart	Richart	

Maßstab 1 : 1	Bohrvorrichtung für Flügelmuttern	Nr. 1325


Kordel 1,2
12 Kugel
Tr 24x5
220
100
85
15
113
74
30
40
23
22
28
A
B
C
D
1
2
3
4
5
6



Schnitt C-D
Schnitt A-B
7
8
9
10
38
34
120°
60
30
26
25
20
Stückz | Benennungen u. Bemerkungen | Teil | Werkstoff u. Rohmaße
3 | Kegelstift 2×20 Din 1 | 10 | St. 60. 11
3 | Ring | 9 | St. 37. 12
3 | Bolzen | 8 | St. 37. 12
1 | Zylinderstift | 7 | St. 60. 11
1 | Kugel gehärtet | 6 | St. 70. 11
1 | Hakenträger | 5 | St. 42. 11
1 | Druckstück | 4 | St. 60. 11
1 | Dorn | 3 | St. 37. 12
1 | Druckspindel | 2 | St. 50. 11
3 | Haken | 1 | St. 42. 11
Datum | Name
Gezeichnet | 11. 12. 40 | Rust
Geprüft | 12. 12. 40 | Dorsch
Maßstab 1:1
Abziehvorrichtung
Nikolaiwerke Jacobshausen
Nr. 1326

Die Zeichnung wird mit einer Stückliste versehen. Diese ist in der unteren rechten Ecke anzubringen. In der Stückliste ist alles zu vereinigen, was an allgemeinen Vermerken zur Zeichnung gehört. Die einzelnen Felder der Stückliste sowie ihre Anordnung sind genormt. Die Teilnummern (früher Positionen genannt) werden von unten nach oben aufgeführt, um die Stückliste bei Bedarf erweitern zu können. Alle Eintragungen in der Stückliste sind in Normschrift vorzunehmen, ausgenommen die Unterschriften.

Auf Seite 222 und 223 finden Sie eine verkleinerte Wiedergabe der im Maßstab 1 : 1 gefertigten Werkzeichnung unserer Bohrvorrichtung. Der Maßstab für die Verkleinerung ist 1 : 1,2. Aus dieser Abbildung ersehen Sie die Art und Weise, wie eine solche Werkzeichnung angefertigt wird. Sie muß alle zu fertigenden Einzelteile so dargestellt enthalten, daß diese nach der Zeichnung hergestellt werden können.

Der Zusammenbau der Vorrichtung erfolgt nach einer Übersichtzeichnung, auf der sich die Gesamtdarstellung der Vorrichtung (wie in Abb. 302) befindet.

Zeichnerische Darstellung einzelner Bauteile einer Abziehvorrichtung

Sollen Räder, Riemenscheiben, Buchsen, Kugellager oder ähnliche Bauteile von Wellen oder Bolzen gelöst werden, so lassen sie sich mit den üblichen Werkzeugen oft nicht trennen. Um sie nicht mit einem Hammer zu beschädigen, verwendet man zweckmäßig eine Abziehvorrichtung. In der Zeichnung Seite 224 und 225 ist eine Abziehvorrichtung dargestellt. Die 3 Haken (1) fassen hinter das abzuziehende Rad. Die Druckspindel (2) wird zunächst von Hand ohne den Dorn (3) so weit angezogen, daß das Druckstück (4) am Wellenende zum Anliegen kommt. Ziehen wir nun die Spindel mit Hilfe des Dornes (3) weiter an, so wird der Hakenträger (5) nach oben gedrückt. Dieser Bewegung müssen die Haken folgen; sie ziehen also das Rad vom Wellenende ab.

Während sich die Spindel (2) dreht, muß das Druckstück (4) fest auf dem Wellenende ruhen, damit die Welle nicht beschädigt wird. Daher sind die Kugel (6) und der Stift (7) zwischen Spindel und Druckstück eingeschaltet.

Die Haken (1) sind mit dem Hakenträger (5) durch die Bolzen (8) beweglich verbunden, so daß die Hakenstellung dem Umfang verschiedener Räder angepaßt werden kann. Die Bolzen sind durch Ringe (9) und Stifte (10) gesichert.

Zeichnen Sie als **Übungsaufgabe** 40) in einer Werkzeichnung nach dem Muster des vorigen Abschnittes die Einzelteile 1—5, 8 und 9 so auf, daß sie nach dieser Zeichnung angefertigt werden können! Die übrigen Teile werden in der Werkzeichnung nicht dargestellt, da sie entweder fertig vom Lager oder aus dem Handel bezogen werden. Sie müssen jedoch in der Stückliste mit den notwendigen Bemerkungen aufgeführt sein.

Bemerkung: Die Darstellung auf S. 224 und 225 ist die verkleinerte Wiedergabe einer im Maßstab 1 : 1 gefertigten Zeichnung einer Abziehvorrichtung. Verkleinerungsmaßstab 1 : 1,8.

Von unserer Sprache

Die folgenden Abschnitte entstanden bewußt als Einzeldarstellungen aus dem Gebiet der Rechtschreibung und Zeichensetzung. Es wurde keine Vollständigkeit angestrebt, es sollten häufig auftretende Schwierigkeiten erläutert werden.

Aus der Rechtschreibung

Großschreibung der Zeitwörter

Halt! Da stimmt was nicht!

„Franz, ich habe doch in der Schule gelernt, Wörter, die sagen, was wir tun, werden klein geschrieben, also z. B. rechnen, arbeiten, hobeln, fräsen. Und guck dir dieses Heft an, da wimmelt's von Fehlern. Da lese ich: Wir beginnen mit dem Berechnen; an anderer Stelle: beim Ordnen und Zusammenfassen, zum Nachziehen; ich habe noch mehr solche Fehler gesehen."

„Langsam, Fritz, jetzt bist du reingefallen. Du hast ja richtig gelesen: Beim Ordnen, zum Nachziehen usw. Es heißt doch nicht: Wir ordnen, wir werden nachziehen, da wäre es ein Tun, und die Wörter wären Zeitwörter. Aber bei deinen ‚Fehlern' ist die Sache doch ganz anders, da werden die ursprünglichen Zeitwörter wie ein Hauptwort verwendet. Sprich doch einmal ausführlicher, wenn auch sprachlich nicht so schön, bei dem Hobeln usw., dann erkennst du schon die Ausgangsform: Das Hobeln, das Löten, das Schaben usw. Siehst du, in dieser Verwendung wird das ursprüngliche Zeitwort zum Hauptwort oder Dingwort und erhält einen großen Anfangsbuchstaben. Also, Fritz, heute merkst du dir: Werden Zeitwörter als Hauptwörter gebraucht, so werden sie groß geschrieben."

-lich — -ig

Da schau her, Franz!

„Also, Franz, schau her! Du bist so gut in der Rechtschreibung zu Hause. Wie schreibst du die Endsilbe ‚lich'?" „Das ist doch wirklich keine große Geschichte, Fritz, selbstverständlich l-i-c-h." „Das ist ganz meine Meinung, aber die Verfasser der Soldatenbriefe sollten das auch gelernt haben. Schau nach Seite 71: gleichschenk-lig, rechtwink-lig, ungleichschenk-lig. Auch an anderer Stelle habe ich mich darüber geärgert. Da stand gleich auf einer Seite nebeneinander: spitzwink-lig, rechtwink-lig, stumpfwink-lig, kiese-lig." „Da hast du eine besondere Familie zusammengestellt, lieber Fritz. Wenn du dir diese Wörter ohne die Endsilbe anschaust, so wirst du mit dem Restwort nicht mehr recht zufrieden sein. Schenke(lig), winke(lig), kiese(lig). Da wirst du lieber sagen: winkel(ig), schenkel(ig), kiesel(ig). Denn das ‚l' gehört zum Hauptteil des Wortes, oder wie man

sagt: das ‚l' gehört zum Stamm. Für die Endung bleibt nur noch übrig ‚i-g'. Das wirst du niemals ‚i-c-h' schreiben wollen.

Ich will dir noch einige solcher Wörter nennen, die alle in ihrem Stamm auf ein ‚l' ausgehen und daher die Endsilbe ‚ig' erhalten: zöllig, wellig, ballig, ölig, kuglig, neblig, wacklig. Diese Aufzählung genügt dir wahrscheinlich.'"

-tägig — -täglich

Es hapert bei mir schon wieder!

„Sag' mal, Franz, heißt es vierzehntäglich oder vierzehntägig?"

„Nun, Fritz, so schnell kann ich dir die Frage nicht beantworten. Es kommt nämlich ganz darauf an, was zum Ausdruck gebracht werden soll. Es kann das eine oder das andere richtig sein. Du mußt mir schon den Sinn sagen, den du zum Ausdruck bringen willst."

„Ich will nach Hause schreiben, daß ich demnächst 14 Tage Urlaub bekomme."

„So, nun kann ich dir auch sagen, wie es richtig heißen muß: Du bekommst einen vierzehntägigen Urlaub. Die Nachsilbe ‚ig' bezeichnet eine ununterbrochene Dauer, ‚lich' die wechselnde Wiederkehr. Dein Arbeitsbericht z. B. muß alle 14 Tage eingereicht werden, also vierzehntäglich. Der Geselle bekommt wöchentlich seinen Lohn; die Fachzeitschrift erscheint halbmonatlich (der Vorgang wiederholt sich). Aber: Morgen beginnt ein dreiwöchiger Lehrgang für Elektroschweißer; die Taschenlampenbatterie hat eine dreistündige Brenndauer (der Vorgang wiederholt sich nicht). Übrigens gibt es ein sehr einfaches Hilfsmittel, das man anwenden kan, wenn man im Zweifel ist. Man setzt ‚tägig' und ‚täglich' ein. Man wird niemals sagen, daß eine Maschine ‚tägig', sondern ‚täglich' gereinigt wird, also muß es auch wöchentlich, monatlich usw. heißen.

Und dann noch eins, lieber Fritz! Man kann Zahlen auch durch Ziffern zum Ausdruck bringen, man muß aber dann auch darauf achten, daß die Ziffer mit dem dazugehörigen Wort durch einen Bindestrich verbunden wird, da ja beide zusammengehören. Also: Der Motor versagte nach 4-stündiger (oder vierstündiger) Betriebsdauer.

Ich denke, Fritz, daß dir diese Erklärung für heute genügen wird."

Von den Fremdwörtern

Darauf bin ich stolz!

„Mein lieber Franz! Gerade zwei Dutzend Fremdwörter habe ich in den Soldatenbriefen bis jetzt gefunden, die ich nicht benutzt hätte. Für schraffieren, karieren, konstruieren, Produktion sage ich: schraffen, kästeln, entwerfen, Erzeugung. Das sind nur einige Beispiele. Aber ich bin stolz darauf, ich verwende keine Fremdwörter!"

„Da pflichte ich dir bei, Fritz. Die Fremdwörter ärgern mich auch immer. Aber sei nur nicht gar zu stolz. Denn es gibt besonders in der

Technik viele Fremdwörter, für die es keine gleichwertige Verdeutschung gibt. Ich denke an Fabrik, Maschine, Elektrizität, Turbine, Industrie und manche andere. Aber woran siehst du denn eigentlich, ob du ein Fremdwort vor dir hast?"

„Na, das merkt man doch!"

„Freilich, wenn dir ein Wort vorkommt, das dir restlos unverständlich ist, dann wird es schon ein Fremdwort sein, etwa Amplitude (Schwingungsweite) oder Viskosität (Zähigkeitsgrad). Man kann aber Fremdwörter auch an der Betonung erkennen. Beim Fremdwort liegt die Betonung meist auf dem Wortende (Monteur, Ingenieur, reparieren), beim deutschen Wort überwiegend auf dem Wortanfang (Facharbeiter, Betriebsleiter, ausbessern). Zeitwörter auf ‚ieren', wie deine Beispiele schraffieren, karieren, konstruieren, sind immer Fremdwörtcr.

Ein als Fremdwort erkanntes Wort sollst du mit Recht meiden, wenn dir ein gutes deutsches Wort dafür bekannt ist. Denn warum sollen wir nicht sagen Sammler statt Akkumulator, Umspanner statt Transformator, Lehre statt Kaliber, Rundfunk statt Radio, Schnellhobler statt Shapingmaschine? Sind nicht senkrecht, waagerecht, dauernd, gleichbleibend verständlicher als die Fremdlinge vertikal, horizontal, permanent, konstant? Und wir sagen doch besser entwerfen, prüfen, verteilen als konstruieren, probieren, sortieren.

Du hast also vollkommen recht mit der Ablehnung der Fremdwörter, und ich bin mit dir einer Meinung, vermeidbare Fremdwörter sollen verschwinden. Aber wir müssen uns freihalten von der Sucht, das fremde Wort um jeden Preis aus unserer Sprache hinauszuwerfen. Unbekannte oder unzutreffende Verdeutschungen verursachen Irrtümer und Lächerlichkeit. Das gilt besonders auf dem Gebiet der Technik."

i—ie

Dampfmaschine — Eisenbahnschiene!

„Also, Franz, die Fremdwörter haben mich noch nicht ganz losgelassen. Warum schreibt man im Wort Maschine kein ‚ie', aber im Wort Eisenbahnschiene steht es? Ich finde keinen Unterschied beim Sprechen."

„Das Kapitel Rechtschreibung kann einem schon das Leben schwer machen, lieber Fritz. Für das Fremdwort gelten zum Teil andere Regeln als für die deutschen Wörter. Dein Beispiel läßt sich einordnen in das Kapitel Selbstlautdehnung. In der deutschen Sprache setzen wir häufig zu einem langgesprochenen Selbstlaut ein besonderes Dehnungszeichen, z. B. ein ‚e' oder ein ‚h', oder wir verdoppeln den Selbstlaut. Ich nenne nur wenige Beispiele: Eisenbahnschiene, nieten, Tiegelstahl, bohren, Schublehre, Teeröl, Leerlauf. Es gibt aber auch viele Wörter, bei denen wir im Schriftbild die Dehnung des Selbstlautes nicht darstellen: Nabe, Span, Kegel, Scherfestigkeit, Lot, Kloben, Nut, Glut.

Für die Schreibung der Fremdwörter lassen sich für den Abschnitt ‚Dehnung eines Selbstlautes' folgende 4 Gruppen bilden:

1) Als große Hauptregel gilt: Das Fremdwort hat kein Dehnungszeichen. Deshalb schreiben wir: Nonius, Spirale, Volumen, Modul, Zentrale, Pistole, Tube ...
2) Im Wortinnern steht im Fremdwort nur ‚i': Turbine, Benzin, Kaliber, Ventil, Maschine, Silo, Vulkanfiber, spezifisch ...
3) Am Wortende steht im Fremdwort ‚ie': Energie, Kolonie, Batterie, Industrie, Garantie ...
4) Die Endung ‚ieren' ist Fremdwortendung: montieren, zentrieren polieren, skizzieren, numerieren, transportieren, kalkulieren ...

Aber Fritz! Über allem halten wir fest: Wir wollen nach Möglichkeit entbehrliche Fremdwörter meiden, dann kann uns auch die Rechtschreibung des Fremdwortes keine besonderen Schwierigkeiten bereiten!"

ph—f

Was ist da nun richtig?

„Lieber Franz! Hier lese ich in ein und derselben Zeitung zwei Werbeanzeigen und finde in der einen ‚Photograph' mit ‚ph' geschrieben, in der anderen ‚Fotohandlung' mit ‚f'. Was ist da nun richtig?"

„Mein lieber Fritz, du kommst von der Fremdwortschreibung nicht los. Aber ich verstehe deinen Wunsch, solche Zweifel zu beheben.

Im Fremdwort steht das ‚ph' an Stelle des deutschen ‚f'. Ich nenne einige Wörter: Telegraph, Telephon, graphische Darstellung, Phase u. a. Das Sprachempfinden des Volkes hat sich schon lange gegen diese Fremdlinge gewendet und ihnen wenigstens eine deutsche Schreibung gegeben. Dabei wurde das ‚ph' durch das ‚f' ersetzt. Die eingedeutschte Form Fotograf, Telefon, Telegraf, grafisch finden wir deshalb mehr und mehr neben der heute noch als amtlich festgelegten Fremdwortschreibung mit ‚ph .

Deshalb ist es schon gut, wenn wir zu unserem Grundsatz zurückkehren: Verwende keine vermeidbaren Fremdwörter! Sagen wir also in Zukunft: Lichtbild für Photographie und aufnehmen oder knipsen für photographieren. Das versteht jeder. Auch die Post hilft uns. Sie gibt ein Fernsprechverzeichnis heraus, sie stellt Fernsprecher auf, und unsere Kameraden von der Nachrichtentruppe setzen ihren Fernspruch ab. Vielleicht wird das Beispiel der Wehrmacht bald allgemein befolgt, dann sagen auch wir für Telegraph nur noch Fernschreiber. Die zeichnerische Darstellung kann gut die fremde ‚graphische' Darstellung verdrängen. Das Fremdwort Phase, das der Elektriker in allen möglichen Bedeutungen gebraucht, kann in vielen Fällen durch gute deutsche Bezeichnungen ersetzt werden; Leitung, Anschluß, Wicklung u. a. sind einige solche Übertragungen. Darum, lieber Fritz: Laß uns das Fremdwort meiden, dann sind wir auch die Sorge um das fremde ‚ph' los!"

—ff—fff—

Gibt's so etwas?

„Ja, lieber Franz, gibt's so etwas überhaupt: drei ‚f' stehen in dem Worte Rohstofffreiheit hintereinander. Das ist das erstemal, daß ich eine solche Häufung gleicher Buchstaben lese."

„Das ist sehr wohl möglich, lieber Fritz, denn die Aufeinanderfolge von drei gleichen Buchstaben ist in der deutschen Sprache eine Seltenheit. Das tritt nur ein, wenn zwei Wörter zu einem Wort verbunden werden."

„Aber halt, Franz, das weiß ich nun doch besser. Denn ich habe mich über eine solche Geschichte schon einmal recht geärgert, das vergißt man nicht so bald. Ich hatte das Wort ‚Vollast', etwa in dem Ausdruck: Der Motor lief mit Vollast, mit drei ‚l' geschrieben. Da habe ich mich zu guter Letzt überzeugen lassen: Vollast wird nur mit zwei ‚l' geschrieben, obgleich doch drei ‚l' zusammenstoßen!"

„Das freut mich, wie gut du dieses Beispiel dir gemerkt hast. Du hast auch recht. Denn die allgemeine Regel lautet: Treffen bei einer Wortzusammensetzung drei gleiche Mitlaute aufeinander, so sind nur zwei zu schreiben. Aber der dritte Mitlaut ist wieder einzusetzen, wenn das Wort zwischen den gleichen Buchstaben getrennt wird. Dein Beispiel ist so zu behandeln: Vollast, aber Voll-last. Im letzten Brief hättest du auch das Wort Metallegierung finden können. Da gilt das gleiche: Metallegierung, aber bei der Trennung Metall-legierung. Ich nenne dir noch einige solcher Wörter, die in derselben Weise zu behandeln sind: Sperrad — Sperr-rad, Schnittiefe — Schnitt-tiefe, Schiffahrt — Schiff-fahrt. Aber, mein lieber Fritz, nirgends gilt das schöne Wort: ‚Keine Regel ohne Ausnahme' besser als in der Rechtschreibung. Und nun komme ich auf dein Ausgangsbeispiel zurück. Drei gleiche Mitlaute sind auch ohne Abteilung beizubehalten, wenn auf den dritten Mitlaut ein weiterer Mitlaut folgt. Betrachte die soeben genannten Beispiele. Da folgt auf die gleichen Mitlaute stets ein Selbstlaut. In deinem Beispiel jedoch ist der folgende Buchstabe ebenfalls ein Mitlaut: Rohstofffreiheit, es folgt ein ‚r' nach dem dritten ‚f'. Hierzu gehören noch die folgenden Beispiele: stickstofffrei und Rohstofffrage. Vielleicht merkst du dir diese Sonderfrage unserer Rechtschreibung an dem Scherzausdruck ‚fetttriefende Haffflundern', der mir immer wieder ins Gedächtnis kommt, wenn ich auf eines dieser zusammengesetzten Wörter stoße, bei denen ich mir immer wieder überlegen muß: Treffen drei gleiche Mitlaute zusammen, so werden nur zwei davon geschrieben, wenn der folgende Buchstabe ein Selbstlaut ist. Ist der folgende Buchstabe jedoch ein Mitlaut, so werden alle drei Mitlaute in der Schreibung beibehalten. Beim Abteilen kommt der dritte Mitlaut auf die nächste Zeile."

z—tz

Da hapert's bei mir immer.

„Da hapert's bei mir immer wieder, Franz! Bald schreibt man ein Wort nur mit ‚z', oft ist ein ‚tz' zu schreiben, und auch ‚zz' habe ich in dem Wort

Skizze getroffen. Immer gibt's eine kleine Hemmung, wenn ich ein Wort mit einem ‚z' niederschreibe."

„Nun, ganz so schlimm ist die Sache ja gar nicht, lieber Fritz. Das Doppel-z wirst du überhaupt nur in dem Wort Skizze bzw. skizzieren getroffen haben. Diesen Fall können wir also schon einmal ausschalten. Nun brauchen wir nur noch eine Regel, wann ‚z' und wann ‚tz' zu stehen hat. Das ‚tz' steht in deutschen Wörtern an Stelle eines ‚zz'. Eine Verdoppelung eines Mitlautes aber schreiben wir in der deutschen Sprache nur nach einem kurz gesprochenen Selbstlaut. Folgende Wörter sind deshalb mit ‚tz' zu schreiben: Setzstock, Putzlappen, Ersatzteil, Schutzbrille, Radsatz, Bremsklotz, Spritzkanne, Ritzel, Schlitz, Saugstutzen, Laufkatze, Einsatzhärtung, Stütze, Blitzschutz, Nutzlast, Übersetzung.

Selbstverständlich sind auch alle mit diesen Hauptwörtern zusammenhängenden Zeit- und Eigenschaftswörter, soweit sie einen kurz gesprochenen Selbstlaut beibehalten, mit ‚tz' zu schreiben. Wir schreiben also die Zeitwörter: setzen, abputzen, schützen, spritzen und die Eigenschaftswörter: abgesetzt, verputzt, geschützt, verspritzt, geritzt ebenfalls mit ‚tz'. Wird aber der kurze Selbstlaut in einer anderen Wortart zu einem lang gesprochenen Selbstlaut, bzw. zu einem Doppellaut, so darf das ‚tz' nicht beibehalten werden. Ich denke an die Worte: Hitze — heizen, spritzen — spreizen, auch beizen, Beize, Weizen gehören hierher.

Alle anderen Wörter, die ein ‚z' im Wortinnern oder am Wortende haben, werden nur mit ‚z' geschrieben. Hierzu gibt es natürlich eine stattliche Anzahl von Beispielen. Ich nenne: Falz, Schurz, Kurzschluß, Fenstersturz, Kreuzmeißel, Spannherz, Grenzlehre, Stanze, Benzol, Benzin, Zahnkranz, Holzkohle, Abwälzfräser, Walze und viele andere.

Im Fremdwort steht nur ‚z'. Auch dazu einige Beispiele: horizontal, Magazin, Exzenter, Elastizität, Prozent, Azetylen, Matrize, Präzision, Dezimalwaage, Spezialbronze.

Du siehst also, Fritz, die ganze Geschichte mit der Schreibung von ‚z' oder ‚tz' läßt sich tatsächlich in die knappe Regel bringen: Nur nach kurz gesprochenem Selbstlaut steht ‚tz', sonst immer ‚z'."

Wörter mit „zu"

Eine Frage am Rande ...

„Also Franz, heute sind es nicht die Fremdwörter, die mich quälen, heute ist's eine Frage mehr am Rande der Rechtschreibung. Wie schreibst du ‚durchzubohren'? Ich denke an den Satz: ‚Es ist wichtig, die Löcher vollständig durchzubohren.'"

„Ich vermute, dich interessiert, ob das Beispiel in einem Wort zusammenzuschreiben ist oder ob es nach seinen Bestandteilen zu trennen ist. Es handelt sich nämlich um ein zusammengesetztes Zeitwort. Dein Beispiel besteht aus dem eigentlichen Zeitwort ‚bohren' und aus dem Verhältniswort ‚durch'. Tritt das Wörtchen ‚zu', das ohne jede Betonung

gesprochen wird, zwischen die beiden Teile eines zusammengesetzten Zeitwortes, so bildet es mit diesen Teilen ein Wort. Also ist zu schreiben: festzuklemmen, zusammenzuschweißen, zuzulöten, abzudrehen, anzureißen, unterzulegen, aufzuleimen usw. Steht aber das Wörtchen ‚zu' nur vor einem einfachen Zeitwort, so kommt es auf die Betonung an, ob es mit diesem Zeitwort zusammenzuschreiben ist oder ob es getrennt steht. Die Regel lautet: Ist das Wörtchen ‚zu' betont, so bildet es mit dem folgenden Zeitwort ein Wort. Wird hingegen das Zeitwort betont, so steht ‚zu' getrennt. Ich nenne Dir einige Beispiele im Satzzusammenhang. Ich versuche, den gesprungenen Maschinenständer zu schweißen, aber: Wir müssen diese Naht noch zuschweißen. Oder: Versuche einmal, dieses Rohr zu biegen, und: Du mußt die Öse besser zubiegen.

Du siehst also, Fritz, diesmal war die Sache recht einfach. Vor allem gibt es keine Ausnahmen zu den genannten Regeln."

Waagen — Wagen

Das ist mir ganz neu!

„Schon mehrfach habe ich das Wert ‚waagerecht' mit ‚aa' gelesen. Das wird kein Druckfehler sein. Aber das ist mir ganz neu, daß waagerecht mit Doppel-a zu schreiben ist. Erkläre mir das doch bitte einmal, Franz!"

„Du hast vollkommen recht, Fritz. Diese Schreibform ist noch ziemlich neu. Du kannst im Duden als Anmerkung zu diesem Wort lesen: ‚Durch Bekanntmachung des Reichsministers des Innern vom 5. Juli 1927 wurde die Schreibung ‚Waage' an Stelle von ‚Wage' zur besseren Unterscheidung vom ‚Wagen' in die amtliche Rechtschreibung aufgenommen."

Das Wort Waage ist die Grundform für unser Wort waagerecht, das uns sagt, eine Sache ist ‚nach der Waage recht'. Eine Waage ist ein Gerät zum Wiegen und somit zum Messen. Du kennst die Waage des Kaufmanns und die Dezimalwaage für große Lasten, vielleicht hast du auch schon einmal auf einem Bremsstand eine Federwaage gesehen. Nicht vergessen dürfen wir die Wasserwaage des Bauhandwerkers. Damit ermittelt er die Waagerechte. Wir schreiben also das Wort Waage und seine Ableitungen mit Doppel-a, wenn das Wort die Bedeutung des Messens enthält.

Hat das Wort aber eine andere Bedeutung, so ist es nur mit einem a zu schreiben. Wenn ich sage: ‚Ich wage es, diesen Stahl im Ölbad abzuschrecken', so meine ich, ich versuche diese Arbeit. Auf keinen Fall denke ich an ein Messen. Entsprechend schreiben wir das Wort Wagen, als Bezeichnung eines Fahrzeuges, nur mit a. Eisenbahnwagen, Gießwagen, Transportwagen usw. sind solche Benennungen. Daraus siehst du, Fritz, daß die verschiedene Schreibung der gleichklingenden Wörter, die Waage und ‚ich wage' uns in der Schreibform helfen soll, die verschiedene Bedeutung besser herauszuheben."

Von der Zeichensetzung

Der Punkt

Lohnt sich das?

„Also Franz, heute komme ich mit einer Sache, da frage ich mich selbst: Lohnt sich das, davon zu reden? Mir fällt auf, daß hinter den Überschriften gar kein Punkt steht. Ist das richtig?"

„Warum soll es sich nicht lohnen, Fritz, auch einmal von diesem kleinen Zeichen unserer Schrift ein paar Worte zu verlieren. Zunächst steht der Punkt am Ende des Satzes. Hier erfüllt er seine Hauptaufgabe. Er macht uns beim Lesen aufmerksam, daß ein Gedanke abgeschlossen ist. Dort senken wir unsere Stimme und machen eine kleine Sprechpause. So gliedern wir unsere Sprache und erleichtern das Verstehen. Bei einer Überschrift aber braucht uns der Punkt nicht erst zu sagen: ‚Hier ist eine Sprechpause zu machen', sondern die Überschrift hebt sich meist durch Fettdruck heraus, oder sie ist kürzer als die volle Zeile. Deshalb können wir uns den Punkt am Ende einer Überschrift schenken. Ebenso kommt man mit Recht immer mehr davon ab, hinter Firmenköpfe, Anschriften oder hinter die Namensunterschrift einen Punkt zu setzen.

Eine andere Aufgabe hat der Punkt hinter einer Zahl. Durch einen Punkt wird aus einer Grundzahl, z. B. aus 1, 2, 3 . . ., eine Ordnungszahl: 1., 2., 3. . . ., die wir erstens, zweitens, drittens oder erster, zweiter, dritter lesen. Du weißt, daß wir besonders bei den Tagesangaben solche Ordnungszahlen verwenden.

Unser kleiner Punkt kann aber noch eine dritte Aufgabe lösen. Wir verwenden ihn als Abkürzungszeichen. Wir schreiben: z. B. für: zum Beispiel oder: s. S. 24ff. und lesen: siehe Seite 24 und die folgenden Seiten. Aber nicht alle Abkürzungen werden mit einem Punkt abgeschlossen. Die Abkürzungen für Himmelsrichtungen, Maße, Gewichte, Münzen u. dgl. (lies: und dergleichen) sind ohne Abkürzungspunkt zu schreiben. Wir schreiben also Berlin W für Berlin-West oder m und kg für Meter und Kilogramm. Das gleiche gilt für alle anderen Maßbezeichnungen. Du kennst V für Volt, A für Ampere, W für Watt und viele andere. Leider machen die Abkürzungen für unsere deutschen Münzbezeichnungen eine Ausnahme. Die Abkürzungen sind in Druckbuchstaben mit Punkt und nur in Schreibschrift ohne Punkt zu schreiben. Du hast also zu wählen zwischen *M*, *RM*, *Pf*, *Rpf* und M., RM., Pf., Rpf., wenn du Mark, Reichsmark, Pfennig, Reichspfennig mit ihren Abkürzungen gebrauchst.

Von der Verwendung des Punktes im Doppelpunkt (:), Strichpunkt (;) oder als ‚Gedankenpunkt' (. . .) will ich dir heute nichts erzählen. Du wirst jetzt schon ungeduldig sagen: ‚Aber nun mach bald einen Punkt!'"

Der Beistrich

Ich bin oft unsicher!

„Hör' einmal, Franz, in der Zeichensetzung bin ich doch sehr unsicher. Ich weiß zum Beispiel selten, wann ein Komma notwendig ist. Gibt es nicht ein paar einfache Regeln, nach denen man sich richten kann, oder kann man die Zeichensetzung einfach vernachlässigen?"

„Nun, Fritz, vernachlässigen darf man die Zeichensetzung nicht. Doch ehe wir uns über die Zeichensetzung näher unterhalten, ist es notwendig, uns mit einigen Grundfragen der Satzlehre zu beschäftigen.

Im allgemeinen wird ein Satz einen Gedanken zum Ausdruck bringen. Zu einem vollständigen Satz gehören der Satzgegenstand und die Satzaussage. Der Satzgegenstand ist die Person oder die Sache, von der etwas gesagt wird, die Satzaussage gibt Auskunft über den Satzgegenstand.

In der folgenden Übersicht sind einfache Sätze niedergeschrieben.

Satzgegenstand	Satzaussage	Satzgegenstand	Satzaussage
Der Motor	läuft.	Das Vorgelege	wird eingerückt.
Die Säge	ist stumpf.	Der Schlüssel	paßt nicht.
Ich	schmiede.	Alter Werkstoff	wird gesammelt.
Das Rohr	glüht.	Späne	fallen.
Das Werkstück	ist fertig.	Die Schiene	ist zu kurz.

Zu diesen Grundbestandteilen eines Satzes (Satzgegenstand und Satzaussage) können noch verschiedene Erweiterungen treten, über die später noch gesprochen werden soll.

Der vollständige Ausdruck eines Gedankens erfordert oft mehrere Sätze. Die können gleichwertig nebeneinanderstehen, z. B. die Maschinen ruhen, die Arbeit ist beendet.

Sie können aber auch verschiedener Wertigkeit sein, d. h. der Hauptgedanke wird durch den Hauptsatz zum Ausdruck gebracht, während die anderen Sätze zur Erläuterung des Hauptgedankens dienen, von dem Hauptsatz also abhängig oder diesem untergeordnet sind. Diese Sätze nennt man dann Nebensätze.

Hierfür folgen Beispiele.

Hauptsatz	Nebensatz
Der Motor läuft gut,	den wir gestern gekauft haben.
Die Säge ist so stumpf,	daß sie unbrauchbar ist.
Ich schmiede,	solange das Eisen glüht.
Das Rohr glüht,	weil es nicht gekühlt wird.
Das Werkstück ist fertig,	so daß es geliefert werden kann.
Das Vorgelege wird eingerückt,	damit die Drehzahl herabgesetzt wird.
Der Schlüssel paßt nicht,	weil er zu stark ist.
Alter Werkstoff wird gesammelt,	damit er wieder verwendet werden kann.
Späne fallen,	wo gehobelt wird.
Die Schiene ist zu kurz,	die du geholt hast.

Jetzt kennst du Haupt- und Nebensätze, Fritz.

Bevor wir aber damit beginnen, die Regeln der Zeichensetzung zu besprechen, sollst du einsehen, daß richtige Zeichensetzung sehr wichtig ist, denn sie dient dazu, Mißverständnisse beim Lesen eines geschriebenen Textes zu vermeiden. Beim Sprechen hat man die Möglichkeit, durch Betonen verschiedener Wörter, durch Heben oder Senken der Stimme oder durch Innehalten kleiner Pausen das Verständnis zu erleichtern. Beim Schreiben fallen diese Möglichkeiten fort. Dafür treten die Satzzeichen ein. Sie sind unbedingt notwendig. Vielleicht wird dich folgendes Beispiel davon überzeugen.

Der Werkmeister, mein Freund und ich lesen zusammen die Fachzeitschrift.

Das sind, so wie der Satz hier steht, drei Personen, nämlich

1) der Werkmeister, 2) mein Freund, 3) ich.

Setzt man ein weiteres Komma, für das wir weiterhin die deutsche Bezeichnung ‚Beistrich', wählen wollen, hinter das Wort ‚Freund', dann erhält der Satz einen anderen Sinn.

Der Werkmeister, mein Freund, und ich ...

Jetzt sind nur zwei Personen gemeint, nämlich der Werkmeister, der gleichzeitig mein Freund ist, und ich. Du siehst, Fritz, lediglich durch richtige Anwendung der Satzzeichen erreicht man, daß ein bestimmter Sinn herausgelesen werden kann. Da verschiedene Satzbilder häufig wiederkehren, so wird auch die Notwendigkeit, einen Beistrich zu setzen, sich ebensooft wiederholen. Hieraus ergeben sich dann die Regeln für die Zeichensetzung.

In dem Beispielsatz: ‚Der Werkmeister, mein Freund und ich lesen zusammen die Fachzeitschrift', sind drei Satzgegenstände aufgezählt.

1) der Werkmeister, 2) mein Freund, 3) ich.

Zwischen dem ersten und dem zweiten Satzgegenstand steht ein Beistrich, zwischen dem zweiten und dritten steht das Wörtchen ‚und'. Das entspricht auch der Regel. Es ist die erste, die du kennenlernen sollst.

Zwischen Aufzählungen steht entweder ein Beistrich, oder wir verwenden die Bindewörter ‚oder', ‚sowie' oder ‚und'.

Ich will dir noch ein paar andere Beispiele nennen, und du wirst sehen, daß in allen Fällen genau nach der Regel verfahren wird.

Zur Herstellung von Löchern gebraucht man Spitzbohrer, Drillbohrer, Zentrumsbohrer oder Spiralbohrer.

In der Werkstatt wird gefeilt, gehobelt, gefräst und gebohrt.

Zylinderschrauben, Senkschrauben, Halbrundschrauben und Sechskantschrauben sind die am häufigsten verwendeten Schraubensorten.

Die Anordnung der Ansichten und Schnitte, die verschiedenen Linien, die Eintragung der Maße sowie die Blattgrößen und Maßstäbe bei technischen Zeichnungen sind genormt.

Du mußt zugeben, Fritz, daß die Beherrschung dieser Regel keine Schwierigkeiten macht.

Für eine weitere Regel der Zeichensetzung, Fritz, will ich noch einmal den 2. Beispielsatz anführen.

Der Werkmeister, mein Freund, und ich lesen zusammen die Fachzeitschrift.

Hier steht vor ‚und' ein Beistrich, denn es handelt sich in diesem Satz nicht um eine reine Aufzählung gleicher Satzteile, sondern zwischen den beiden aufgezählten Satzteilen ‚der Werkmeister' und ‚ich' ist zur näheren Bezeichnung des Satzteiles ‚der Werkmeister' das Hauptwort ‚mein Freund' eingeschoben worden. Die entsprechende Regel der Zeichensetzung heißt:

Eingeschobene Sätze oder Satzteile werden durch Beistriche eingeschlossen.

Hiernach muß in unserem Beispiel vor und hinter ‚mein Freund' ein Beistrich stehen. Diese Regel steht nicht im Widerspruch zu unserer ersten, wonach zwischen Aufzählungen entweder ein Beistrich oder eins der Bindewörter ‚und', ‚sowie', ‚oder' stehen soll. Denken wir uns den eingeschobenen Satzteil fort, dann fallen mit ihm auch die Beistriche weg. Zwischen den beiden Satzteilen, die hier aufgezählt werden, steht nur das Wörtchen ‚und'.

Folgende Sätze enthalten ebenfalls eingeschobene Satzteile bzw. Sätze:

Der Benzinmotor, eine deutsche Erfindung, ist heute unentbehrlich.
Molybdän und Chrom, beides seltene Metalle, dienen als Legierungsbestandteile des Eisens zur Herstellung hochwertiger Stähle.
Heute werden bei technischen Erzeugnissen, sofern es irgend möglich ist, deutsche Austauschstoffe verarbeitet.
Die Achslager einer Lokomotive werden, da es während der Fahrt nicht möglich ist, bei jedem größeren Aufenthalt nachgesehen.

Der eingeschobene Satz oder Satzteil kann aber auch am Anfang oder am Ende des Satzes stehen, die Regel gilt nach wie vor. Wir können also auch schreiben:

Da es während der Fahrt nicht möglich ist, werden die Achslager einer Lokomotive bei jedem größeren Aufenthalt nachgesehen.
Die Achslager einer Lokomotive werden bei jedem größeren Aufenthalt nachgesehen, da es während der Fahrt nicht möglich ist.

Ähnlich ist die Zeichensetzung bei Anreden, auch sie werden durch Beistriche eingeschlossen.

Du siehst, mein Lieber, die Zeichensetzung ist nicht schwer.
Fritz, du siehst, die Zeichensetzung ist nicht schwer.

Ich will dir heute auch noch eine dritte Regel nennen.

Vor ‚und' sowie vor ‚oder' steht ein Beistrich, wenn ein vollständiger Hauptsatz folgt.

Auch hierfür nenne ich dir Beispiele:

Flammrohre haben eine große Hitze auszuhalten, und bei schlechter Wartung können sie leicht durchbrennen.

Maschinen müssen regelmäßig gesäubert werden, oder sie versagen eines Tages ihren Dienst.

Ich hoffe, Fritz, daß die drei Regeln, die du bis jetzt kennst, dir bald geläufig werden.

Die vierte Regel zur Zeichensetzung lautet:

Haupt- und Nebensatz sind stets durch Beistriche voneinander zu trennen.

Du erinnerst dich, daß wir schon zu Anfang dieses Abschnittes von Nebensätzen gesprochen haben. Sie dienen zur Erläuterung des Hauptsatzes und sind diesem untergeordnet. Sie werden eingeleitet durch Bindewörter (z. B. als, nachdem, wenn, da, weil, daß, während, damit, solange, so daß u. a.), bezügliche Fürwörter (der, die, das, wer, was usw.) oder Fragewörter (wer, was, wann, wo, wohin, wie, warum usw.). Nach seiner Stellung zum Hauptsatz kann der Nebensatz ein Vorsatz, Zwischensatz oder Nachsatz sein. Beachte hierzu folgende Beispiele:

Lager müssen gut geschmiert werden, damit die Reibung geringer wird.

Jeder Arbeiter muß, wenn er Unfälle vermeiden will, die Unfallverhütungsvorschriften beachten.

Damit die Betriebssicherheit des Kraftfahrzeugs erhalten bleibt, bedarf es ständiger Pflege.

Der Wasserdampf nimmt einen bedeutend größeren Raum ein als das Wasser, aus dem er entstanden ist.

Die Ölfeuerung hat gegenüber der Verwendung fester Brennstoffe den Vorteil, daß der Nutzeffekt wesentlich höher liegt.

(Vergleiche hierzu auch die Gegenüberstellung von Haupt- und Nebensätzen Seite 235)

Eine weitere Regel besagt:

Nebensätze sind voneinander durch Beistriche zu trennen, wenn sie nicht durch ‚und' bzw. ‚oder' verbunden sind.

Auch hierzu will ich dir ein paar Beispiele nennen.

Die Maschine, die wir gestern kauften, nachdem wir die Fabrik besichtigten, wird morgen in unserer Werkstatt aufgestellt.

Austauschstoffe, die wir heute verwenden und die reichlich vorhanden sind, helfen Devisen sparen.

Es ist vorteilhafter, wenn man kleine Abnutzungen bei Schneidewerkzeugen durch häufiges Nachschleifen ausgleicht, als daß große Ungenauigkeiten durch starke Materialabnahme beseitigt werden.

Die einzelnen Sandkörnchen des Schleifsteins greifen besser an, wenn er trocken ist, wobei sich jedoch die Werkstücke, die geschliffen werden, leichter erwärmen und ausglühen.

Sobald du auf die Unterscheidung von Haupt- und Nebensätzen achtest, wird dir die Zeichensetzung keine Schwierigkeiten bereiten.

Für den Abschluß unserer Besprechungen über das Setzen eines Beistriches will ich dir zunächst einige Beispiele nennen:

Der Betriebsführer versprach zu kommen.
Der Ingenieur bat mich zu warten.
Der Meister forderte den Kunden auf zu zahlen.

Der Betriebsführer versprach, heute zu kommen.
Der Ingenieur bat mich, kurze Zeit zu warten.
Der Meister forderte den Kunden auf, den Rechnungsbetrag zu zahlen.

Diese beiden Satzgruppen gleichen sich weitgehend, die Sätze der 1. Gruppe enthalten jedoch eine kurze Angabe mehr als die Sätze der 2. Gruppe. Gerade diese kurzen Angaben sind für die Zeichensetzung von Bedeutung. Sehen wir uns einmal den ersten Satz jeder Gruppe näher an. Der erste Satz enthält den verkürzten Nachsatz ‚zu kommen', der nur aus der Grundform eines Zeitwortes in Verbindung mit dem Wörtchen ‚zu' besteht. Wir bezeichnen diese Form als ‚die einfache Grundform mit zu'. In dem zugehörigen Beispielsatz der anderen Gruppe ist zu der einfachen Grundform noch ein Satzteil hinzugetreten (heute zu kommen). Man spricht dann von einer ‚erweiterten Grundform mit zu'. Die Erweiterung, die hier aus einem Wort gebildet wird, kann auch aus mehreren Wörtern bestehen, wie dies die anderen Sätze zeigen. Die Regel für die Zeichensetzung zu diesen Beispielen lautet:

Vor der einfachen Grundform mit zu steht kein Beistrich, vor der erweiterten mit zu steht immer ein Beistrich.

Wenn man im 2. Beispiel keinen Beistrich setzen würde, wüßte man nicht, ob der Betriebsführer heute versprach, gelegentlich mal zu kommen, oder ob er heute kommen wollte.

Ich nenne dir noch weitere Beispiele:

Der Geselle bekam den Auftrag zu löten.
Der Geselle hatte den Auftrag, das Rohrstück zu löten.
Jeder hat die Pflicht zu arbeiten.
In der Massenanfertigung ist es üblich, in den Schraubstock besondere Backen einzusetzen, die der Form des Werkstückes entsprechen.
Die Funken, die beim Schleifen eines Eisenstückes an einer Schmirgelscheibe entstehen, sind ein gutes Hilfsmittel, verschiedene Stahlsorten zu erkennen.

Merke dir außerdem noch:

Vor ‚um zu', ‚ohne zu' und ‚anstatt zu' steht immer ein Beistrich.

Auch hierfür nenne ich dir ein paar Beispiele:

Der Meister kam, um die neuen Maschinen zu besichtigen.
Die neuen Maschinen laufen seit 4 Wochen ununterbrochen, ohne die geringsten Unregelmäßigkeiten zu zeigen.
Die in Deutschland gewonnenen Kupfermengen reichen nicht aus, um den gesamten deutschen Bedarf zu decken.
Mancher läßt Altmaterial immer noch unbeachtet, anstatt es zu sammeln und der Wiederverwertung zuzuführen.

So, Fritz, nunmehr haben wir die wichtigsten Regeln über das Setzen eines Beistriches kennengelernt. Man kommt mit ihnen aus, wenn man bemüht ist, sich in kurzen Sätzen auszudrücken."

Die Anführungsstriche

Das möchte ich auch noch wissen!

„Du sagtest, Franz, daß die Besprechungen über die Zeichensetzung nunmehr abgeschlossen wären. Ich möchte aber noch gerne etwas über den Gebrauch der Gänsefüßchen wissen. Kannst du mir darüber etwas sagen?"

„Ja, Fritz, das will ich gerne tun. Die Gänsefüßchen, wie du sagst, nennt man auch Anführungsstriche. Sie sollen die wörtliche Rede einschließen; d. h. bei Sätzen und Aussprüchen, die so wiedergegeben werden, wie sie gesprochen worden sind, werden zu Anfang Anführungsstriche unten und am Schluß Anführungsstriche oben gesetzt. Ich will dir ein Beispiel nennen:

„Morgen muß die neue Maschine betriebsfähig sein", sagte der Ingenieur.

Die Worte, die der Ingenieur tatsächlich ausgesprochen hat, werden also durch Anführungsstriche unten und oben eingeschlossen. Vor dem Beisatz steht ein Beistrich. Wäre der Ausspruch eine Frage, dann würde vor dem Beisatz kein Beistrich stehen: „Ist die neue Maschine morgen betriebsfähig?" fragte der Ingenieur.

Der Beispielsatz kann aber auch anders heißen:

„Morgen", sagte der Ingenieur, „muß die neue Maschine betriebsfähig sein."

Du siehst auch hier, daß das, was der Ingenieur wörtlich sagt, durch Anführungsstriche eingeschlossen wird. Nur ist hier der Ausspruch durch einen eingeschobenen Satz (er muß zwischen Beistrichen stehen) unter-

brochen worden. Er muß, da er nicht zum Ausspruch gehört, außerhalb der Anführungsstriche stehen.

Unser Beispielsatz kann noch ein drittes Mal geändert werden:

Der Ingenieur sagte: „Morgen muß die neue Maschine betriebsfähig sein."

Hier geht der erläuternde Satz dem Ausspruch voraus, er führt auf den Ausspruch hin, deshalb steht hinter ihm noch ein Doppelpunkt. Der wörtliche Ausspruch wird wiederum durch Anführungsstriche eingeschlossen.

Neben der Kennzeichnung der wörtlichen Rede werden Anführungsstriche auch dazu benutzt, um einzelne Wörter, Buchtitel, Überschriften usw. hervorzuheben und den Sinn des Satzes dadurch zu verdeutlichen:

Vor „und" steht ein Beistrich, wenn ein Hauptsatz folgt.
Eyths „Hinter Pflug und Schraubstock" ist lesenswert.
„Aufregung über eine neue Erfindung" hieß die Überschrift in der Fachzeitschrift.

Ich glaube, Fritz, daß dir diese Erklärungen über den Gebrauch der Anführungsstriche genügen werden."

Lösungen

Beantwortung der Wiederholungsfragen aus der Werkstoffkunde

1) Roheisen ist infolge seiner Zusammensetzung sehr spröde und daher technisch unbrauchbar. Durch das Frischen, also die Zuführung von Luft zum flüssigen Roheisen, verbrennt größtenteils der im Roheisen enthaltene Kohlenstoff, ferner Silizium und Mangan. Das bisher spröde Roheisen wird zu schmiedbarem Stahl.
2) Die deutschen Eisenerze enthalten fast ausnahmslos Phosphor. Im Thomasverfahren binden der Zuschlag in Form von Kalk und die aus Dolomit bestehende Auskleidung der Birne den Phosphor zu phosphorsaurem Kalk. Dadurch ist es möglich, den Phosphor aus dem Roheisen zu entfernen und technisch einwandfreien Stahl aus deutschen Eisenerzen herzustellen.
3) Roheisen hat bekanntlich einen hohen Kohlenstoffgehalt. Kohlenstoffreiches Eisen aber schmilzt leichter als kohlenstoffarmes Eisen. Infolge der fortschreitenden Entkohlung im Puddelofen reicht die im Ofen erzeugte Temperatur schließlich nicht mehr aus, den Einsatz flüssig zu halten. Das Eisen wird zuerst zähflüssig und dann teigig.
4) Die heimischen Eisenerzvorkommen reichen nicht aus, den riesigen Bedarf Deutschlands an Stahl zu decken. Die Kriegswirtschaft und die Devisenlage erfordern mehr noch als bisher, alle Stahlabfälle und entbehrlichen Eisenteile wieder nutzbar zu machen. Mehr als die Hälfte der deutschen Stahlerzeugung ist heute auf die Schrottverwertung im Siemens-Martin-Ofen aufgebaut. Somit trägt der Siemens-Martin-Ofen wesentlich dazu bei, im Interesse einer gesteigerten Kriegserzeugung die deutsche „Erzlücke" zu schließen.
5) Das Zeichen für 8 mm Rundstahl ist ⌀ 8. Rundstahl ist formgenormt nach DIN-Blatt 1013. Gewalzter Stahl mit 42 kg/mm² Zugfestigkeit ist werkstoffgenormt mit DIN-Blatt 1612 unter der Bezeichnung: St 42.12.
Folglich lautet die Bestellung: 9 m ⌀ 8 DIN 1013 St 42.12.
6) Zeichen für U-Stahl von 200 mm Höhe: ⊏ 20. U-Stahl ist nach Form und Abmessungen genormt nach DIN-Blatt 1026. Für die Normung des Werkstoffes gilt DIN-Blatt 1612. Stahl der Normalgüte hat die Bezeichnung: St 37.12.
Wir bestellen wie folgt: 12 · 9 m ⊏ 20 DIN 1026 St 37.12.
7) Gußeisen, Stahl.
8) Sie unterscheiden sich durch den Kohlenstoffgehalt. Roheisen hat den größten, Stahl den kleinsten Kohlenstoffgehalt.
9) Der Schmelzpunkt liegt höher, wenn der Kohlenstoffgehalt sinkt.
10) Ge 26.91 bedeutet ein Gußeisen, für das die Gießerei eine Zugfestigkeit von 26 kg je mm² zusichert und dessen Eigenschaften und Lieferungsbedingungen im Normenblatt 1691 festgelegt sind.
11) Ketten werden auf Zug beansprucht, Gußeisen aber verträgt nur verhältnismäßig geringe Zugbeanspruchungen.
12) Heizungskörper, Schraubstöcke, Richtplatte, die Maschinenkörper der Werkzeugmaschinen . . .

Lösungen zu den Übungsaufgaben aus dem Technischen Rechnen

1) **Lösung:**

$$F = \frac{a+b}{2} \cdot h$$

F für 1 Stuhlsitz $= \frac{0,45 + 0,40}{2} \cdot 0,45$
$= 0,19 \text{ m}^2$

F für 25 Stuhlsitze	$= 0,19 \cdot 25$	$= 4,75 \text{ m}^2$
dazu 25% Verschnitt	$= \frac{1}{4}$ von 4,75	$= 1,19 \text{ m}^2$
Holzbedarf für 25 Stuhlsitze		$= 5,94 \text{ m}^2 \approx 6,00 \text{ m}^2$

Für 25 Stuhlsitze sind $\approx$ **6,00 m²** Holz erforderlich.

Nebenrechnungen:

```
  0,45
+ 0,40
  0,85 : 2 = 0,425
```

```
 0,425 · 0,45
 2125
  1700
 0,19125
≈ 0,19
```

```
0,19 · 25
   95
  38
 4,75
```

```
4,75 : 4 = 1,187
4          ≈ 1,19
 7
 4
 35
 32
  30
```

2) **Lösung:**

$$V = F \cdot h$$

$$F = \frac{0,50 + 1,05}{2} \cdot 1,15$$

$$V = \frac{0,50 + 1,05}{2} \cdot 1,15 \cdot 114,40$$

$= 102,0 \text{ m}^3$

Preis $= 102 \cdot 2,90$
$= 295,80$ RM.

Die Arbeit kostet **295,80 RM.**

Nebenrechnungen:

```
  0,50
+ 1,05
  1,55 : 2 = 0,775
```

```
0,775 · 1,15
3875
 775
  775
0,89125
```

```
0,89125 · 114,4
  356500
 356500
 89125
89125
101,959000
≈ 102
```

```
102 · 2,9
 918
204
295,8
```

3) **Lösung:** Wir bezeichnen den Rauminhalt des Ziegelmauerwerks auf 1 m Länge mit V_1 und die Wichte des Ziegelmauerwerks mit γ_1, den Rauminhalt des Betonsockels auf 1 m Länge mit V_2 und die Wichte des Betons mit γ_2.

G für 1 lfd. m Mauer	$= V_1 \cdot \gamma_1 + V_2 \cdot \gamma_2$
V_1 für 1 lfd. m Mauerwerk	$= F_1 \cdot 1,00$
	$= 0,51 \cdot 2,00 \cdot 1,00 = 1,020 \text{ m}^3$
V_2 für 1 lfd. m Beton	$= F_2 \cdot 1,00$
	$= 0,70 \cdot 0,30 \cdot 1,00 = 0,210 \text{ m}^3$

$$G = 1{,}020 \cdot 1{,}8 + 0{,}210 \cdot 2{,}0$$
$$= 2{,}256 \text{ t}$$
$$= 2256 \text{ kg}$$
$$\text{Druckfläche} = 0{,}70 \cdot 1{,}00 = 0{,}70 \text{ m}^2$$
$$= 7000 \text{ cm}^2$$
$$\text{Druckspannung} = \frac{2256}{7000} = 0{,}322$$
$$\approx 0{,}3 \text{ kg/cm}^2$$

Der Erdboden wird mit **0,3 kg/cm²** belastet.

Nebenrechnungen:

$$\begin{array}{r} 1{,}836 \\ +\ 0{,}420 \\ \hline 2{,}256 \end{array} \qquad \begin{array}{l} 1{,}02 \cdot 1{,}8 \\ \hline 816 \\ 102 \\ \hline 1{,}836 \end{array} \qquad \begin{array}{l} 2256{,}0 : 7000 = 0{,}322 \approx 0{,}3 \\ 22560 \\ 21000 \\ \hline 15600 \\ 14000 \\ \hline 1600 \end{array}$$

4) Lösung: 1 m³ Holz wiegt 0,8 t = 800 kg.

Der Wagen darf mit 16500 kg beladen werden, also Lademöglichkeit $= \frac{16500}{800}$
$= 20{,}625 \text{ m}^3$

Auf den Wagen können bis zu **20,625 m³** Holz mit der Wichte 0,8 verladen werden.

Nebenrechnungen: $\frac{16500}{800} = \frac{165}{8}$

$$\begin{array}{l} 165 : 8 = 20{,}625 \\ 16 \\ \hline \ \ 50 \\ \ \ 48 \\ \hline \ \ \ 20 \\ \ \ \ 16 \\ \hline \ \ \ 40 \end{array}$$

5) Lösung: Der Dampf drückt auf die kreisförmige Kolbenfläche vom Durchmesser 640 mm. Der Flächeninhalt eines Kreises ist $F = \frac{d^2\pi}{4}$. Um den Druck auf die ganze Kolbenfläche zu erhalten, rechnen wir daher Druck auf 1 cm² mal Kolbenfläche F. Der Gesamtdruck wird mit P, der Druck auf 1 cm² mit p bezeichnet.

$$P = F \cdot p$$
$$F = \frac{d^2\pi}{4} = \frac{64 \cdot 64 \cdot 3{,}14}{4}$$
$$= 3215 \text{ cm}^2$$
$$P = 3215 \cdot 18$$
$$= 57870 \text{ kg}$$

Der Druck auf die ganze Kolbenfläche beträgt **57870 kg.**

Nebenrechnungen:

$$\frac{64 \cdot \overset{16}{\cancel{64}} \cdot 3{,}14}{\cancel{4}} \qquad \begin{array}{l} 64 \cdot 16 \\ \hline 384 \\ \ \ 64 \\ \hline 1024 \end{array} \qquad \begin{array}{l} 1024 \cdot 3{,}14 \\ \hline 4096 \\ \ 1024 \\ 3072 \\ \hline 3215{,}36 \approx 3215 \end{array}$$

6) **Lösung:** Das Gewicht des Rohres ist $G = V \cdot \gamma$. Das Rohr hat die Form eines Hohlzylinders. Wir berechnen zuerst den Rauminhalt V_1 des vollen Zylinders und ziehen davon ab den Rauminhalt V_2 des Hohlraumes, dann ist der Rauminhalt des Rohres $V = V_1 - V_2$.

Der Rauminhalt des Zylinders ist $V = F \cdot h$.

Wir bezeichnen die Fläche des vollen Zylinders mit F_1, seinen Durchmesser mit d_1 und die Fläche des Hohlraumes mit F_2, seinen Durchmesser mit d_2.

$$V_1 = F_1 \cdot h = \frac{d_1^2 \pi}{4} \cdot h$$

$$= \frac{48 \cdot 48 \cdot 3{,}14}{4} \cdot 500 = 904320 \text{ cm}^3$$

Hiervon ab

$$V_2 = F_2 \cdot h = \frac{d_2^2 \pi}{4} \cdot h$$

$$= \frac{45 \cdot 45 \cdot 3{,}14}{4} \cdot 500 = 794813 \text{ cm}^3$$

$$V = V_1 - V_2 \qquad = 109507 \text{ cm}^3$$

$$G = V \cdot \gamma = 109507 \cdot 7{,}25 = 793926 \text{ g} \approx 794 \text{ kg}$$

Das Gewicht des Rohres ist **794 kg.**

Nebenrechnungen:

$$\frac{48 \cdot \overset{12}{48} \cdot 3{,}14}{4}$$

```
48 · 12
96
48
576
```

```
576 · 3,14
2304
 576
1728
1808,64
```

```
1808,64 · 500
= 180864 · 5
904320
```

```
45 · 45
225
180
2025 : 4 = 506,25
20
 25
 24
  10
   8
  20
```

```
506,25 · 3,14
 202500
  50625
151875
1589,6250 · 500
= 158962,5 · 5
794812,5 ≈ 794813
```

```
109507 · 7,25
  547535
 219014
766549
793925,75
≈ 793926
```

7) **Lösung:** Um den Preis des Stammes zu errechnen, müssen wir zuerst seinen Rauminhalt V in m³ berechnen. Beim Holzverkauf ist es üblich, den Stamm als Zylinder zu betrachten und seine Länge sowie seinen mittleren Durchmesser zu messen. Der Rauminhalt wird mittels Tabellen festgestellt. Ist keine Tabelle vorhanden, so wird mittlere Querschnittfläche (nicht obere + untere Querschnittfläche geteilt durch 2) mal Länge gerechnet.

Mittlerer Durchmesser $= \frac{0{,}45 + 0{,}30}{2} = 0{,}38$ m

$$F = \frac{0{,}38 \cdot 0{,}38 \cdot 3{,}14}{4} = 0{,}11 \text{ m}^2$$

$$V = 0{,}11 \cdot 12{,}50 = 1{,}375 \text{ m}^3$$

Preis $= 1{,}375 \cdot 28 = 38{,}50$ RM.

Der Preis für den Stamm beträgt **38,50 RM.**

Nebenrechnungen:

```
  0,45           0,38 · 0,38         0,1444 : 4 = 0,0361
+ 0,30           304                  12
  0,75 : 2 = 0,375  114               24
       ≈ 0,38   0,1444                24
                                      — 4

  0,0361 · 3,14       12,5 · 0,11       1,375 · 28
  1444                125               11000
   361                1,375             2750
  1083                                  38,500
 0,113354 ≈ 0,11
```

8) Lösung: Der Wasserbehälter hat die Form eines Zylinders, an dem die Höhe des Wasserstandes zu berechnen ist, wenn er 150000 *l* enthält. In dieser Höhe ist der Überlauf angebracht. Gegeben ist in dieser Aufgabe der Rauminhalt V des Zylinders in Liter bis zu der Höhe des Überlaufes, gesucht ist die Höhe h bis zum Überlauf.

$$V = F \cdot h$$

Da h unbekannt ist, vertauschen wir zunächst die Seiten

$$F \cdot h = V$$

Beide Seiten der Gleichung werden nun durch F geteilt:

$$\frac{F \cdot h}{F} = \frac{V}{F}$$

$$h = \frac{V}{F}$$

Da V in Liter angegeben ist, müssen die Maße in dm eingesetzt werden:

$$F = \frac{d^2 \pi}{4} = \frac{200 \cdot 200 \cdot 3{,}14}{4}$$

$$= 31400 \text{ dm}^2$$

$$h = \frac{V}{F} = \frac{1500000}{31400}$$

$$= 4{,}78 \text{ m}$$

Der Überlauf muß in einer Höhe von **4,78 m** angebracht werden.

Nebenrechnungen:

$$\frac{\overset{50}{\cancel{200}} \cdot 200 \cdot 3{,}14}{\cancel{4}} = 31400$$

$$\begin{array}{l} 1500000 : 31400 = 47{,}77 \approx 47{,}8\,\text{dm} = 4{,}78\,\text{m} \\ \underline{1256} \\ \ \ 2440 \\ \ \ \underline{2198} \\ \ \ \ 2420 \\ \ \ \ \underline{2198} \\ \ \ \ \ \ 222 \end{array}$$

9) $2{,}5a + 3b - 1{,}5a = 2{,}5a - 1{,}5a + 3b = a + 3b$

10) $5\frac{1}{2} - a - 3{,}5 + 2a - 2 - a = 2a - a - a + 5{,}5 - 3{,}5 - 2 = 0$

11) $x + \frac{a}{3} + 2x - \frac{1}{3}a = x + 2x + \frac{a}{3} - \frac{a}{3} = 3x$

12) $1{,}1y \cdot 3a = 3{,}3ay$

13) $\frac{r}{2} \cdot 2r = \frac{r \cdot 2r}{2} = r^2$

14) $a \cdot 0 \cdot b \cdot 3{,}7 = 0$

Jede Zahl mit 0 malgenommen gibt 0!

15) $\frac{ax}{x} = a$

16) $\frac{\overset{0,3}{\cancel{2,7}}\,a\cancel{b}}{\cancel{9}\cancel{b}} = 0{,}3a$

oder Sie erweitern zunächst den Bruch mit 10:

$$\frac{2{,}7ab}{9b} \cdot \frac{10}{10} = \frac{\overset{3}{\cancel{27}}\,a\cancel{b}}{\cancel{9}\cancel{b} \cdot 10} = \frac{3a}{10}$$

17) Zunächst vertausche ich die Seiten, damit h auf der linken Seite steht.

$$F \cdot h = V$$

Jetzt teile ich beide Seiten der Gleichung durch F.

$$\frac{F \cdot h}{F} = \frac{V}{F} \text{ und erhalte so: } h = \frac{V}{F}$$

18) Die Größe a soll allein auf der linken Seite stehen. Ich vertausche wieder die Seiten.

$$\frac{a+b}{2} \cdot h = F$$

Wenn ich beide Seiten der Gleichung durch h teile, so wird auf der linken Seite der Bruch allein stehenbleiben.

$$\frac{a+b}{2} \cdot \frac{\cancel{h}}{\cancel{h}} = \frac{F}{h}; \qquad \frac{a+b}{2} = \frac{F}{h}$$

Nun nehme ich beide Seiten der Gleichung mit 2 mal und erreiche dadurch, daß auf der linken Seite der Nenner fortfällt.

$$\frac{a+b}{2} \cdot 2 = \frac{F}{h} \cdot 2; \qquad a + b = \frac{2F}{h}$$

Ziehe ich b auf beiden Seiten der Gleichung ab, so erhalte ich

$$a + b - b = \frac{2F}{h} - b$$

$$a = \frac{2F}{h} - b$$

Die Größe b soll allein auf der linken Seite stehen. Der Rechnungsgang ist der gleiche.

$$F = \frac{a+b}{2} \cdot h$$

$$\frac{a+b}{2} \cdot h = F$$

$$\frac{a+b}{2} = \frac{F}{h}$$

$$a + b = \frac{2F}{h}$$

$$b = \frac{2F}{h} - a$$

Die Größe h soll allein auf der linken Seite stehen.

$$F = \frac{a+b}{2} \cdot h$$

$$\frac{a+b}{2} \cdot h = F$$

Auf der linken Seite ist h mit dem Bruch $\frac{a+b}{2}$ malgenommen. h wird allein auf der linken Seite stehenbleiben, wenn ich beide Seiten der Gleichung durch den Bruch $\frac{a+b}{2}$ teile. Eine Zahl teile ich durch einen Bruch, indem ich den Bruch umkehre und malnehme. Wenn ich den Bruch $\frac{a+b}{2}$ umkehre, so heißt er $\frac{2}{a+b}$. Mit dem Bruch $\frac{2}{a+b}$ muß ich beide Seiten malnehmen.

$$\frac{a+b}{2} \cdot \frac{2}{a+b} \cdot h = F \cdot \frac{2}{a+b}$$

$$h = F \cdot \frac{2}{a+b} \quad \text{oder} \quad h = \frac{2F}{a+b}$$

Aus allen diesen Erläuterungen und Beispielen ist ersichtlich, wie wichtig für Sie das Rechnen mit Buchstaben ist. Ist es Ihnen doch dadurch möglich, bekannte Formeln umzustellen und z. B. bei $F = g \cdot h$ nicht nur F, sondern auch g und h, falls eine dieser Größen unbekannt ist, zu errechnen.

19) Rechnungsgang: Wir berechnen zunächst den Rauminhalt eines Stahlrohres in cm^3. Das Stahlrohr ist ein hohler Kegelstumpf. Wir erhalten daher dessen Rauminhalt V als das Produkt aus Querschnittsfläche in mittlerer Höhe und Rohrlänge, wobei wir, um den Rauminhalt in cm^3 zu erhalten, alle Längenmaße in cm in die Rechnung einsetzen müssen. Die Querschnittsfläche in mittlerer Höhe ist ein Kreisring, dessen Flächeninhalt wir erhalten, indem wir von dem Flächeninhalt des äußeren Kreises den Flächeninhalt des inneren Kreises abziehen.

Lösung:

Äußerer Rohrdurchmesser in mittlerer Höhe $= \dfrac{24{,}0 + 14{,}0}{2}$
$= 19{,}0$ cm

Innerer Rohrdurchmesser in mittlerer Höhe $= 19{,}0 - 2 \cdot 1{,}0 = 17{,}0$ cm

Querschnittsfläche in mittlerer Höhe $= \dfrac{19{,}0^2 \cdot 3{,}14}{4} - \dfrac{17{,}0^2 \cdot 3{,}14}{4}$
$= 283{,}39 - 226{,}87$
$= 56{,}5 \text{ cm}^2$

Rauminhalt von 1 Stahlrohr: $V = 56{,}5 \cdot 600$
$= 33900 \text{ cm}^3$

Gewicht von 50 Stahlrohren: $G = 50 \cdot 33900 \cdot 7{,}85$
$= 13305750$ g
≈ 13306 kg
$\approx 13{,}3$ t

Die 50 Stahlrohre wiegen **13,3 t.**

20) Ergebnis: Die 30 Rohlinge kosten **10,60 RM.**

21) Ergebnis: Die Gießpfanne muß **$2\frac{1}{2}$mal** gefüllt werden.

22) Ergebnis: Die Elektrizitätsrechnung im Monat August vergrößert sich um **63 Rpf.**

23) Ergebnis: $20a + 12b$
24) Ergebnis: $5{,}5a + 31{,}3$
25) Ergebnis: $63abx$
26) Ergebnis: $4y$
27) Ergebnis: $x = 31$
28) Ergebnis: $y = \frac{1}{4}$

29) $2a\,(4b - 3c) - 5ab - 3ac$
$= 8ab - 6ac - 5ab - 3ac$
$= 3ab - 9ac$
$= 3a\,(b - 3c)$

30) $(24a - 48a + 56b) : 8$
$= \dfrac{-24a + 56b}{8}$
$= -3a + 7b$
$= 7b - 3a$

31) $36ab - 24b$
$= 12b\,(3a - 2)$

32) $\dfrac{x}{3} = \dfrac{x}{4} + 2$

Um die 3 auf der linken Seite und die 4 auf der rechten Seite wegzubringen, muß die ganze Gleichung mit $3 \cdot 4 = 12$ malgenommen werden.

$\dfrac{12x}{3} = \dfrac{12x}{4} + 24$
$4x = 3x + 24$
$4x - 3x = 24$
$x = 24$

33) $28x - 4x - 3 = 5$
$24x = 5 + 3$
$24x = 8$
$\dfrac{24x}{24} = \dfrac{8}{24}$
$x = \dfrac{1}{3}$

34) Rechnungsgang: Wir berechnen zunächst den Rauminhalt einer Büchse in cm³, indem wir den Rauminhalt der beiden Vollzylinder feststellen und hiervon die Bohrung abziehen. Alle Maße, die in der Zeichnung in mm angegeben worden sind, müssen in die Rechnung in cm eingesetzt werden.

Lösung: Rauminhalt des Zylinders mit 45⌀ $= \frac{4{,}5^2 \cdot 3{,}14}{4} \cdot 6{,}5 \approx 103$ cm³

Rauminhalt des Zylinders mit 60⌀ $= \frac{6{,}0^2 \cdot 3{,}14}{4} \cdot 1{,}2 \approx 34$ cm³

Zusammen = 137 cm³

Hiervon ab:

Rauminhalt der Bohrung $= \frac{2{,}5^2 \cdot 3{,}14}{4} \cdot 7{,}7 = 38$ cm³

Rauminhalt einer Büchse = 99 cm³

Gewicht von 25 Rohlingen $= 25 \cdot 99 \cdot 7{,}25 \approx 18000$ g $= 18$ kg

Preis für 25 Rohlinge $= 18 \cdot 0{,}38 \approx 6{,}84$ RM.

Die 25 Rohlinge kosten **6,84 RM.**

35) Rechnungsgang: Wir berechnen das Gewicht des Stopfbuchsengehäuses für die Ausführung in Gußeisen, ferner die Ausführung in Duraluminium. Hierzu müssen wir zuerst den Rauminhalt des Stopfbuchsengehäuses in cm³ feststellen. Wie denken uns den Körper zerlegt in 5 Einzelzylinder. Die Bohrungen ziehen wir davon ab.

Lösung: Rauminhalt des Zylinders mit 64⌀ $= \frac{6{,}4^2 \cdot 3{,}14}{4} \cdot 1{,}5 \approx 48$ cm³

Rauminhalt des Zylinders mit 68⌀ $= \frac{6{,}8^2 \cdot 3{,}14}{4} \cdot 0{,}5 \approx 18$ cm³

Rauminhalt des Zylinders mit 118⌀ $= \frac{11{,}8^2 \cdot 3{,}14}{4} \cdot 1{,}8 \approx 197$ cm³

Rauminhalt des Zylinders mit 65⌀ $= \frac{6{,}5^2 \cdot 3{,}14}{4} \cdot 2{,}0 \approx 66$ cm³

Rauminhalt des Zylinders mit 82⌀ $= \frac{8{,}2^2 \cdot 3{,}14}{4} \cdot 2{,}0 \approx 106$ cm³

Zusammen = 435 cm³

Hiervon ab:

Rauminhalt des Hohlzylinders mit 50⌀

$= \frac{5{,}0^2 \cdot 3{,}14}{4} \cdot 6{,}0 \approx 118$ cm³

Rauminhalt des Hohlzylinders mit 40⌀

$= \frac{4{,}0^2 \cdot 3{,}14}{4} \cdot 1{,}8 \approx 23$ cm³ = 141 cm³

Rauminhalt des Stopfbuchsengehäuses = 294 cm³

Gewicht des Stopfbuchsengehäuses

a) in Gußeisen $= 294 \cdot 7{,}25 = 2100$ g

b) in Duraluminium $= 294 \cdot 2{,}8 = 800$ g

Gewichtsersparnis bei der Ausführung in Duraluminium ≈ 1300 g $\approx 1{,}3$ kg

Die Gewichtsersparnis bei der Ausführung in Duraluminium beträgt **1,3 kg.**

36) $x + \frac{a}{b} = \frac{a}{b}$

$x = \frac{a}{b} - \frac{a}{b}$

$x = 0$

37) $3 + \frac{x}{2} = 5$

$\frac{x}{2} = 5 - 3$

$\frac{x}{2} = 2$

$x = 4$

38) $ay + 2ay = 3a$

$y + 2y = 3$

$3y = 3$

$y = 1$

39) $\frac{y}{4} + 2y - \frac{y}{2} = 7$

$y + 8y - 2y = 28$

$7y = 28$

$y = 4$

40) $x(a + 3) = 2a + 6$

$x(a + 3) = 2(a + 3)$

$x = 2$

41) Lösung:

Fläche der Tischplatte	$F = a \cdot a = a^2$	
Furnier für 1 Tischplatte	$= 2 \cdot 108 \cdot 108$	
	$= 23328\ cm^2$	
	$= 2,33\ m^2$	
Furnier für 120 Tischplatten	$= 120 \cdot 2,33$	$= 279,60\ m^2$
Dazu 25% Verschnitt	$= \frac{1}{4}$ von $279,60 =$	$69,90\ m^2$
Furnierbedarf für 120 Tischplatten		$= 349,50\ m^2$

Für 120 Tischplatten werden **349,50 m²** Eichenfurnier benötigt.

Nebenrechnungen:

$108 \cdot 108$: 864; 108; $11664 \cdot 2 = 23328$

$2,33 \cdot 120$: 466; 233; 279,60

$279,60 : 4 = 69,90$

42) Lösung: Der Wasserbehälter hat die Form eines Hohlwürfels.

Rauminhalt des Würfels $= a \cdot a \cdot a = a^3$

Rauminhalt des Wasserbehälters $= 3,08 \cdot 3,08 \cdot 3,08$

$= 29,218\ m^3$

$= 29218\ l$

Der Wasserbehälter faßt **29218 l.**

Nebenrechnungen:

$3,08 \cdot 3,08$: 2464; 924; 9,4864

$9,4864 \cdot 3,08$: 758912; 284592; 29,218112

43) $7x^3 - 2x^2 + 10x^3 + 8x^2 - 11x = 17x^3 + 6x^2 - 11x$

44) $3a^2 \cdot 5a = 15a^3$

45) $\frac{16y^3}{4y} = 4y^2$

46) $\sqrt{25} = 5$; $\sqrt{81} = 9$; $\sqrt{121} = 11$; $\sqrt{1} = 1$; $\sqrt{900} = 30$; $\sqrt{0,09} = 0,3$;

$\sqrt{0,64} = 0,8$; $\sqrt{\frac{9}{16}} = \frac{3}{4}$; $\sqrt{\frac{81}{100}} = \frac{9}{10}$

47) $\sqrt[3]{27} = 3$; $\sqrt[3]{0} = 0$; $\sqrt[3]{125} = 5$; $\sqrt[3]{1000} = 10$; $\sqrt[3]{0,064} = 0,4$

48) $\sqrt[3]{7} + 2\sqrt{7} - 4 + 3\sqrt[3]{7} - 4\sqrt[3]{7} + 2 = 2\sqrt{7} - 2$

49) Lösung: Quadratseite $x = \sqrt{\text{Quadratfläche } F}$

$x = \sqrt{144\ m^2}$

$= 12\ m$

Jede Seite des Saales hat eine Länge von **12 m.**

50) **Lösung:** Grundfläche des Zimmers $= 6^2 = 6 \cdot 6 \quad = 36{,}00\ m^2$
Verschnittzuschlag 10 v. H. $= \frac{1}{10}$ von $36\ m^2 = \quad 3{,}60\ m^2$
Gesamtbedarf an Linoleum $= 39{,}60\ m^2$

Für die Belegung des Fußbodens werden **39,60 m²** Linoleum benötigt.

51) **Lösung:** Größe des Bauplatzes $= 30^2 = 30 \cdot 30 = 900\ m^2$
Preis des Bauplatzes $= 900 \cdot 13{,}50 = 12150$ RM.

Der Bauplatz kostet **12150 RM.**

52) **Lösung:** Größe einer Blechplatte $= 0{,}70^2 = 0{,}70 \cdot 0{,}70 = \quad 0{,}49\ m^2$
Größe von 120 Blechplatten $= 120 \cdot 0{,}49 = 58{,}80\ m^2$

Für die Schweißtischplatten werden **58,80 m²** Schwarzblech gebraucht.

53) **Rechnungsgang:** Die Querschnittsfläche einer Säule hat die Form eines Quadrats von 0,30 m Seitenlänge. Da das Säulenfundament nach jeder Seite 5 cm größer sein soll, ist die Fundamentgrube je 40 cm lang und breit auszuschachten; da sie außerdem 40 cm tief werden soll, ist sie in Form eines Würfels von 40 cm Seitenlänge auszuheben.

Lösung:

Seitenlänge der Baugrube $= 0{,}30 + 2 \cdot 0{,}05 = 0{,}40$ m
Aushub von 1 Fundamentgrube $= 0{,}40^3 = 0{,}4 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}4 = 0{,}064\ m^3$
Aushub von 12 Fundamentgruben $= 0{,}064 \cdot 12 = 0{,}768\ m^3$

Für die 12 Fundamente sind **0,768 m³** auszuheben.

54) **Lösung:** 324^2 ist in der Zahlentabelle nicht enthalten. Sie finden jedoch auf S. 4 $32{,}4^2 = 1050$. Verschieben Sie bei 32,4 das Komma eine Stelle nach rechts, so ist nach der Tabelle über Kommaverschiebung bei 1050 das Komma zwei Stellen nach rechts zu verschieben: $\mathbf{324^2 = 105000.}$

$\sqrt{1450} = \mathbf{38{,}08}$, gefunden aus $\sqrt{14{,}5} = 3{,}808$ (S. 3).

Wird bei 14,5 das Komma zwei Stellen nach rechts verschoben, so ist es bei 3,808 eine Stelle nach rechts zu verschieben.

$\sqrt[3]{2900} = \mathbf{14{,}26}$, gefunden aus $\sqrt[3]{2{,}9} = 1{,}426$ (S. 2).

Komma bei 2,9 um drei Stellen, bei 1,426 um eine Stelle nach rechts verschoben.

$0{,}54 \cdot \pi = \mathbf{1{,}6965}$, gefunden aus $5{,}4 \cdot \pi = 16{,}965$ (S. 2).

Komma bei 5,4 um eine Stelle und bei 16,965 gleichfalls um eine Stelle nach links verschoben.

$\frac{0{,}13^2 \cdot \pi}{4} = \mathbf{0{,}013273}$, gefunden aus $\frac{1{,}3^2 \cdot \pi}{4} = 1{,}3273$ (S. 2).

Komma bei 1,3 um eine, bei 1,3273 um zwei Stellen nach links verschoben.

55) **Lösung:** Gewicht der Kohlen $= 1{,}35^3 \cdot 820 = 2{,}46 \cdot 820 = 2017\ kg \approx 2$ t.
Der Bunker faßt **2 t Kohlen.**

Der Wert für $1{,}35^3$ wurde mit Hilfe des Tabellenwertes $13{,}5^3 = 2460$ (S. 3) durch Kommaverschiebung gefunden.

Nebenrechnung:

$$\begin{array}{r} \underline{820 \cdot 2{,}46} \\ 4920 \\ 3280 \\ \underline{1640} \\ 2017{,}20 \end{array}$$

Überschlagsrechnung: Wir rechnen statt $820 \cdot 1{,}35 \cdot 1{,}35 \cdot 1{,}35$ das ungefähre Gewicht der Kohle mit $1000 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1 = 2000$ kg = 2 t.

Merke: Sind mehrere Faktoren mitelnander malzunehmen, so rundet man in der Überschlagsrechnung möglichst abwechselnd einmal auf, einmal ab.

56) Lösung: Mantelfläche $= 1{,}38 \cdot \pi \cdot 3{,}4$
$= 4{,}335 \cdot 3{,}4 = 14{,}7390 \approx$ **14,74 m²**

Der Wert für $1{,}38 \cdot \pi$ wurde mit Hilfe des Tabellenwertes $13{,}8 \cdot \pi = 43{,}35$ (S. 3) durch Kommaverschiebung gefunden.

Überschlagsrechnung: $1{,}4 \cdot 3 \approx 4$; $4 \cdot 3 = 12$.

57) Lösung: Flächeninhalt des Riffelbleches $= \frac{1{,}12^2 \cdot \pi}{4} = 0{,}9852\ \text{m}^2 \approx 0{,}99\ \text{m}^2$

Gewicht des Riffelbleches $= 0{,}99 \cdot 94 = 93{,}06 \approx 93$ kg

Die Platte wiegt **93 kg.**

Der Wert für $\frac{1{,}12^2 \cdot \pi}{4}$ wurde mit Hilfe des Tabellenwertes $\frac{11{,}2^2 \cdot \pi}{4} = 98{,}52$ (S. 3) durch Kommaverschiebung gefunden.

Nebenrechnung:

$$\begin{array}{r} \underline{0{,}99 \cdot 94} \\ 396 \\ \underline{891} \\ 93{,}06 \end{array}$$

Überschlagsrechnung: $\frac{1^2 \cdot 3}{4} \cdot 100 = 75$

Da der wirkliche Wert etwas größer sein muß (es wurde dreimal abgerundet und nur einmal aufgerundet), kann in dem gefundenen Ergebnis 93 kg kein grober Rechenfehler, vor allen Dingen kein Kommafehler enthalten sein.

58) Lösung: Rauminhalt des Betonfundaments $1{,}4^3 = 2{,}744\ \text{m}^3$
Zementbedarf $= 2{,}744 \cdot 200 = 548{,}8$ kg ≈ 550 kg
Es werden **550 kg** = 11 Sack Zement benötigt.

Der Wert 2,744 wurde der allgemeinen Zahlentafel S. 2 entnommen.

59) Rechnungsgang: Die zu streichende Fläche stellt den Mantel eines Zylinders dar, dessen Höhe gleich der Länge des Rohres ist. Es ist also $F = d \cdot \pi \cdot l$. Da die Länge des Rohres in m gegeben ist, setzen wir auch den Durchmesser in m in die Rechnung ein (15 cm = 0,15 m).

Lösung: Zu streichende Fläche $0{,}15 \cdot \pi \cdot 30 = 0{,}4712 \cdot 30 = 14{,}1360\ \text{m}^2 \approx 14{,}14\ \text{m}^2$.
Es sind **14,14 m²** Isolieranstrich auszuführen.

Der Wert 47,12 wurde der allgemeinen Zahlentafel S. 3 entnommen.

60) Rechnungsgang: Sie kennen den Rauminhalt und die Höhe des zylinderförmigen Gasbehälters. Aus der Formel für den Rauminhalt des Zylinders $V = F \cdot h$, in der uns V und h bekannt sind, können Sie F berechnen, das ist die kreisförmige Grundfläche des Gasbehälters, $F = \frac{V}{h}$. In der allgemeinen Zahlentafel suchen Sie dann in der Spalte $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ den für F errechneten Wert und gehen in der Tabelle waagerecht nach links, wo Sie unter $n = d$ den zugehörigen Durchmesser finden.

Lösung: Flächeninhalt der Grundfläche des Gasbehälters $= \frac{5100}{10} = 510$ m². Für den Wert $\frac{d^2 \cdot \pi}{4} = 510{,}7$ finden Sie im Tabellenbuch S. 4 $d = 25{,}5$. Der Durchmesser des Gasbehälters muß also **25,5 m** groß werden.

61) Lösung: 1 Eisen von $d = 14$ mm hat $F = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = 153{,}9$ mm² (Allgemeine Zahlentafel S. 3).

Der Querschnitt von 4 Eisen ist $4 \cdot 153{,}9 = 615{,}6$ mm² $\approx 6{,}16$ cm²

1 Eisen von $d = 18$ mm hat $F = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = 254{,}5$ mm² (Allgemeine Zahlentafel S. 3.

Der Querschnitt von 2 Eisen ist $2 \cdot 254{,}5 = 509{,}0$ mm² = 5,09 cm²
Gesamtquerschnittfläche der Rundeisen des Unterzuges = **11,25 cm²**.

Diese Beispiele dürften Ihnen gezeigt haben, wie groß die Ersparnis an Rechenarbeit bei Benutzung der Tabellen ist.

62a) $54{,}48^2 = ?$

Lösung:

n	n^2
54,4	2959
54,48	
54,5	2970

$U_1 = 54{,}48 - 54{,}4 = 0{,}08$
$U_2 = 2970 - 2959 = 11$
$U_3 = 10 \cdot U_1 \cdot U_2 = 10 \cdot 0{,}08 \cdot 11 = 8{,}8$
$54{,}48^2 = \mathbf{2967{,}8}$

n	n^2
54,4	2959
54,48	2967,8←
54,5	2970

b) $\sqrt{1{,}56} = ?$

Lösung:

n	$\sqrt{n}$
1,5	1,225
1,56	
1,6	1,265

$U_1 = 1{,}56 - 1{,}5 = 0{,}06$
$U_2 = 1{,}265 - 1{,}225 = 0{,}040$
$U_3 = 10 \cdot U_1 \cdot U_2 = 10 \cdot 0{,}06 \cdot 0{,}04 = 0{,}024$
$\sqrt{1{,}56} = \mathbf{1{,}249}$

n	$\sqrt{n}$
1,5	1,225
1,56	1,249 ←
1,6	1,265

c) $10{,}55 \cdot \pi = ?$

Lösung: Der Wert für $10{,}55 \cdot \pi$ liegt in der Mitte zwischen $10{,}5 \cdot \pi$ und $10{,}6 \cdot \pi$.

$10{,}6 \cdot \pi = 33{,}30$
$10{,}5 \cdot \pi = 32{,}99$
Unterschied = 0,31
halber Unterschied = 0,155
$+ 10{,}5 \cdot \pi = 32{,}99$
$10{,}55 \cdot \pi = \mathbf{33{,}145}$

d) $\frac{12{,}58^2 \cdot \pi}{4} = ?$

Lösung:

d	$\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$
12,5	122,7
12,58	
12,6	124,7

$U_1 = 12{,}58 - 12{,}5 = 0{,}08$
$U_2 = 124{,}7 - 122{,}7 = 2{,}0$
$U_3 = 10 \cdot U_1 \cdot U_2 = 10 \cdot 0{,}08 \cdot 2{,}0 = 1{,}6$

$$\frac{12{,}58^2 \cdot \pi}{4} = \underline{\underline{\mathbf{124{,}3}}}$$

d	$\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$
12,5	122,7
12,58	124,3 ←
12,6	124,7

63a) Rechnungsgang: 7 I bedeutet 7 Stück Doppel-T-Stahlträger; 12 × 12 besagt, daß es sich um einen breitflanschigen I-Stahl handelt. Den Technischen Tabellen auf S. 25 entnehmen wir das Gewicht je lfd. m des I-12 × 12-Trägers. Wir finden das Gewicht $G = 27{,}2$ kg/m. Durch Malnehmen des Gewichtes je lfd. m mit der Länge 8,75 m erhalten wir das Gewicht eines Trägers. Nunmehr nehmen wir mit 7 mal und erhalten das Gesamtgewicht der 7 I 12 × 12.

Lösung: Gewicht von 1 I 12 × 12 = 8,75 · 27,2 = 238 kg
Gesamtgewicht von 7 I 12 × 12 = 238 · 7 = 1666 kg

Das Gesamtgewicht der 7 I 12 × 12 beträgt **1666 kg.**

Nebenrechnungen:

```
 8,75 · 27,2
   1750
    6125
  1750
 238,000
```

```
238 · 7
1666
```

b) Rechnungsgang: 4 I 16 × 16 bedeutet 4 breitflanschige Doppel-T-Stahlträger 16 × 16. Das Gewicht je lfd. m ist $G = 45{,}1$ kg/m (Technische Tabellen S. 25). Durch Malnehmen des Gewichtes je lfd. m mit der Länge erhalten Sie das Gewicht eines Trägers. Nunmehr nehmen Sie mit 4 mal und erhalten das Gesamtgewicht der 4 I 16 × 16.

Lösung: Gewicht von 1 I 16 × 16 = 6,20 · 45,1 = 279,62 kg
Gesamtgewicht von 4 I 16 × 16 = 279,62 · 4 = 1118,48 kg

Das Gesamtgewicht der 4 I 16 × 16 beträgt **1118,48 kg.**

Nebenrechnungen:

```
45,1 · 6,2
   902
 2706
 279,62
```

279,62 · 4 = 1118,48

64) Lösung:

$$\frac{\text{Gezeichnete Länge}}{\text{Wahre Länge}} = \frac{\overset{\overset{1}{7}}{350}}{\underset{\underset{5}{35}}{1750}} = \frac{1}{5} = 1:5$$

Die Zeichnung ist im Maßstab **1 : 5** angefertigt worden.

65) Lösung: $\frac{\text{Umdrehungszahl der Transmissionswelle}}{\text{Umdrehungszahl des Motors}} = \frac{\overset{1}{\cancel{250}}}{\underset{6}{\cancel{1500}}} = \frac{1}{6} = 1:6$

Das Übersetzungsverhältnis ist **1 : 6** zu wählen.

66) Lösung: Es verhält sich die gesuchte Breite x des kleineren Schweißtisches zu seiner Länge 630 mm wie die Breite 720 mm des größeren Schweißtisches zu seiner Länge 840 mm,

$$\text{also} \quad \frac{x}{630} = \frac{720}{840} = \frac{6}{7}$$

$$x = \frac{6 \cdot \overset{90}{\cancel{630}}}{\underset{1}{\cancel{7}}} = 6 \cdot 90 = 540 \text{ mm}$$

Die Platte des kleineren Schweißtisches wird **540 mm** breit.

67) Lösung: $$\frac{G_1}{G_2} = \frac{\frac{12^2 \cdot \pi \cdot 4000}{4} \cdot 7{,}8}{\frac{24^2 \cdot \pi \cdot 4000}{4} \cdot 7{,}8} = \frac{113{,}1 \cdot \cancel{4000} \cdot \cancel{7{,}8}}{452{,}4 \cdot \cancel{4000} \cdot \cancel{7{,}8}} = \frac{1}{4}$$

als Proportion geschrieben: $G_1 : G_2 = 1 : 4$

Falls Sie im Rechnen eine gewisse Übung besitzen, dann sparen Sie sich das Aufschlagen in der Tabelle. Sie kürzen den Bruch

$$\frac{\frac{12^2 \cdot \pi \cdot 4000}{4} \cdot 7{,}8}{\frac{24^2 \cdot \pi \cdot 4000}{4} \cdot 7{,}8} \quad \text{und erhalten} \quad \frac{G_1}{G_2} = \frac{12^2}{24^2} = \frac{\overset{1}{\cancel{12}} \cdot \overset{1}{\cancel{12}}}{\underset{2}{\cancel{24}} \cdot \underset{2}{\cancel{24}}} = \frac{1}{4} = 1:4$$

Das Gewicht des einen Eisens von 12 mm ⌀ verhält sich zum Gewicht des zweiten Eisens von 24 mm ⌀ wie **1 : 4.**

68) Rechnungsgang: Die Bruchspannung für Schraubenstahl St 38.13 ist $\sigma_B = 38$ bis 45 kg/mm² (Technische Tabellen S. 27). Wir wählen als mittleren Wert 42 kg/mm². Für die Festigkeitsberechnung setzen wir $\frac{1}{3}$ der Bruchbelastung ein: $\sigma_{z\,\text{zul.}} = 14$ kg/mm². Jetzt ermitteln wir den Querschnitt des Rundstahles für 0,8 cm Durchmesser aus den Technischen Tabellen S. 2; unter $\frac{d^2\pi}{4}$ finden wir für 0,8 den Wert 0,50266. Der Querschnitt beträgt also 0,503 cm² = 50,3 mm². Nunmehr nehmen wir den Querschnitt mit der zulässigen Belastung mal und erhalten die Gesamtzugbelastung.

Lösung:

Gesamtzugbelastung = Querschnitt · zul. Belastung = 50,3 · 14 = 704,2 kg
Der Rundstahl darf mit **704,2 kg** auf Zug belastet werden.

Nebenrechnung:

```
50,3 · 14
2012
 503
704,2
```

69) Rechnungsgang: Die zulässige Zugbelastung für Messing ist $\sigma_{z\,zul.} = 150$ kg/cm² (Technische Tabellen S. 30). Der Querschnitt für $d = 2{,}5$ mm $= 0{,}25$ cm ist $\frac{d^2\pi}{4} = 0{,}049$ cm² (Technische Tabellen S. 2).

Lösung:

Gesamtzugbelastung = Querschnitt · zul. Belastung = 0,049 · 150 = 7,350 kg
Die Zugbelastung kann **7,350 kg** sein.

Nebenrechnung:

```
0,049 · 150
 2450
 49
 7,350
```

70) Rechnungsgang: Der zulässige Höchstdruck für Stahlguß bei wechselnder Belastung (Fall II) beträgt $\sigma_{d\,zul.} = 900$ kg/cm² (Technische Tabellen S. 30).

Lösung:

Zulässiger Höchstdruck = Querschnitt · zul. Druckbelastung = 25 · 900 = 22500 kg
Der zugelassene Höchstdruck für Fall II beträgt **22500 kg.**

Nebenrechnung:

```
 25 · 900
22500
```

71) Rechnungsgang: Die Spindel wird mit wechselndem Druck (Fall II) belastet. Die zulässige Druckbeanspruchung für St 50, Fall II, ist $\sigma_{d\,zul.} = 720$ bis 1080 kg/cm² (Technische Tabellen S. 30). Wir wählen als mittleren Wert $\sigma_{d\,zul.} = 760$ kg/cm². Der Kernquerschnitt beträgt $\frac{d^2\pi}{2} = 4301$ mm² $= 43{,}01$ cm² (Technische Tabellen S. 8).

Lösung: Druckbelastung = Kernquerschnitt · zul. Druckbelastung
= 43,01 · 760 = 32687,60 kg
Die Spindel kann mit **32687,60 kg** Druck belastet werden.

Nebenrechnung:

```
 43,01 · 760
 258060
30107
32687,60
```

72) Rechnungsgang: Wir bestimmen den Temperaturunterschied von —35° bis +45°. Ein Meter Eisenbahnschiene dehnt sich bei der Erwärmung von 1° um $\frac{1}{100}$ von 1,2 mm aus, 12 m ergeben eine 12-fache Ausdehnung. Nunmehr nehmen wir die Ausdehnung von 12 m bei 1° Erwärmung mit unserem errechneten Temperaturunterschied mal und erhalten die gesuchte Gesamtausdehnung.

Lösung: Temperaturunterschied = 45° — (—35°) = 45° + 35° = 80°
Ausdehnung von 1 m Schiene $= \frac{1{,}2}{100} = 0{,}012$ m
Ausdehnung von 12 m Schiene = 12 · 0,012 = 0,144 m
Gesamtausdehnung = 0,144 · 80 = 11,520 mm
Die Ausdehnung von 12 m Schiene bei 80° Erwärmung beträgt **11,52 mm.**

73) Zahlenbeispiele:

$25 - 38 = \underline{\underline{-13}}$	$17 + (-12) = 17 - 12 = \underline{\underline{5}}$
$45 - (-19) = 45 + 19 = \underline{\underline{64}}$	$95 + 3 \cdot (-14) = 95 - 42 = \underline{\underline{53}}$
$84 - 7 \cdot (+8) = 84 - 56 = \underline{\underline{28}}$	$126 - 9 \,.\, (-16) = 126 + 144 = \underline{\underline{270}}$

Lösungen zu den Übungsaufgaben aus der Naturlehre

1) Rechnungsgang: Um das Gewicht der Bohrunterlage feststellen zu können, berechnen wir zunächst ihren Rauminhalt in cm³ (Prisma 320 mm hoch). Wir erhalten dann das Gewicht in g und wandeln diese in kg um. Wir bezeichnen den Querschnitt der fertigen Bohrunterlage mit F, ihren Rauminhalt mit V und ihr Gewicht mit G. Die Fläche des vollen Rechtecks ist mit F_1 und die Fläche des Einschnitts (Dreiecksfläche) mit F_2 bezeichnet. Dann ist $F = F_1 - F_2$.

Lösung:

$$G = V \cdot \gamma$$
$$V = F \cdot h$$
$$F = F_1 - F_2$$
$$F_1 = 12{,}0 \cdot 6{,}0 \quad = 72{,}0 \text{ cm}^2$$

Hiervon ab

$$F_2 = \frac{6{,}0 \cdot 3{,}0}{2} \quad = 9{,}0 \text{ cm}^2$$

$$F \quad = 63{,}0 \text{ cm}^2$$
$$V = F \cdot h$$
$$V = 63{,}0 \cdot 32{,}0 \quad = 2016{,}0 \text{ cm}^3$$
$$G = V \cdot \gamma$$
$$G = 2016{,}0 \cdot 7{,}85 = 15825{,}6 \text{ g}$$
$$= 15{,}826 \text{ kg}$$

Die Bohrunterlage wiegt $\approx$ **15,8 kg.**

Nebenrechnungen:

```
63 · 32          2016 · 7,85
126              10080
189               16128
2016              14112
                 15825,60
```

2) Rechnungsgang: Wir bezeichnen den Querschnitt der fertigen Aufspannplatte mit F, ihren Rauminhalt mit V und ihr Gewicht mit G. Die Fläche des vollen Rechtecks ist F_1, die Flächen der Einschnitte sind $2 \cdot F_2$ und $2 \cdot F_3$. Dann ist

$$F = F_1 - 2 \cdot F_2 - 2 \cdot F_3$$

Lösung: $G = V \cdot \gamma$

$V = F \cdot h$

$F = F_1 - 2 \cdot F_2 - 2 \cdot F_3$

$F_1 = 28{,}0 \cdot 5{,}4 \qquad = 151{,}2\ \text{cm}^2$

Hiervon ab

$2 \cdot F_2 = 2 \cdot 5{,}0 \cdot 1{,}8 = 18{,}0$

$2 \cdot F_3 = 2 \cdot 2{,}4 \cdot 1{,}6 = 7{,}7 \qquad = 25{,}7\ \text{cm}^2$

$F \qquad = 125{,}5\ \text{cm}^2$

$V = F \cdot h$

$V = 125{,}5 \cdot 36{,}5 \qquad = 4580{,}75\ \text{cm}^3$

$G = V \cdot \gamma$

$G = 4580{,}75 \cdot 7{,}25 \qquad = 33210{,}4\ \text{g}$

$= 33{,}210 \approx 33{,}2\ \text{kg}$

Die Aufspannplatte hat ein Gewicht von **33,2 kg.**

Nebenrechnungen:

28 · 5,4	2,4 · 1,6	125,5 · 36,5	4580,75 · 7,25
112	144	6275	2290375
140	24	7530	916150
151,2	3,84 · 2	3765	3206525
	7,68	4580,75	33210,4375
	≈ 7,7		

3) Rechnungsgang: Den Rauminhalt des gesamten Körpers nennen wir V, sein Gewicht G. Wir unterteilen V in den Rauminhalt V_1 des Körpers ohne Rippen (Prisma), dessen Querschnitt schraffiert dargestellt ist, in den Rauminhalt V_2 der beiden Einschnitte (Prismen) und in den Rauminhalt V_3 der beiden Rippen (Prismen mit dreieckiger Querschnittsfläche). Dann ist $V = V_1 - 2 \cdot V_2 + 2 \cdot V_3$. Um den Flächeninhalt F des gezeichneten Querschnitts berechnen zu können, unterteilen wir ihn in der in der Abb. skizzierten Art.

Lösung: $G = V \cdot \gamma$

$V = V_1 - 2 \cdot V_2 + 2 \cdot V_3$

$V_1 = (F_1 + 2 \cdot F_2 + 2 \cdot F_3) \cdot 18{,}5$

$F_1 = 7{,}5 \cdot 2{,}5 \qquad = 18{,}8\ \text{cm}^2$

$2 \cdot F_2 = 2 \cdot 1{,}8 \cdot 6{,}5 \qquad = 23{,}4\ \text{cm}^2$

$2 \cdot F_3 = 2 \cdot 5{,}45 \cdot 1{,}8 \qquad = 19{,}6\ \text{cm}^2$

$F \qquad = 61{,}8\ \text{cm}^2$

$V = F \cdot h$

$V_1 = 61{,}8 \cdot 18{,}5 \qquad = 1143{,}3\ \text{cm}^3$

Hiervon ab

$2 \cdot V_2 = 2 \cdot 2{,}5 \cdot 2{,}5 \cdot 2{,}0 \qquad = 25{,}0\ \text{cm}^3$

$V_1 - 2 \cdot V_2 \qquad = 1118{,}3\ \text{cm}^3$

$+ 2 \cdot V_3 = 2 \cdot \frac{5{,}45 \cdot 4{,}7}{2} \cdot 1{,}8 \qquad = 46{,}1\ \text{cm}^3$

$V \qquad = 1164{,}4\ \text{cm}^3$

$G = V \cdot \gamma$

$G = 1164{,}4 \cdot 7{,}85 \qquad = 9140{,}5\ \text{g}$

$= 9{,}141\ \text{kg}$

Das Gewicht des Lagerkörpers beträgt ≈ **9,1 kg.**

Nebenrechnungen:

3,6 · 6,5
180
216
23,40

5,45 · 3,6
3270
1635
19,620
≈ 19,6

7,5 · 2,5
375
150
18,75
≈ 18,8

61,8 · 18,5
3090
4944
618
1143,30

5,45 · 4,7
3815
2180
25,615

25,615 · 1,8
204920
25615
46,1070
≈ 46,1

1164,4 · 7,85
58220
93152
81508
9140,540 ≈ 9140,5

4) **Lösung:**

Holzliste

Nr.	Benennung	Stückzahl	lfd. m einzeln	lfd. m gesamt 14/16	lfd. m gesamt 16/18	lfd. m gesamt 18/24	Bemerkungen
1	Balken 18/24	10	5,70			*57,00*	
2	Balken 18/24	8	5,20			*41,60*	
3	Wechsel 16/18	2	1,25		*2,50*		
4	Stiche 16/18	6	0,80		*4,80*		
5	Sparren 14/16	16	6,50	*104,00*			
6	Sparren 16/18	2	6,50		*13,00*		
		Zusammen		*104,00*	*20,30*	*98,60*	
		Zusammen		*2,330 m³*	*0,585 m³*	*4,260 m³*	*7,175 m³*

Aus obiger Holzliste ergeben sich ≈ **7,2 m³** Holz.

Nebenrechnungen:

0,14 · 0,16
84
14
0,0224

0,0224 · 104
896
224
2,3296
≈ 2,330

0,16 · 0,18
128
16
0,0288

0,0288 · 20,3
864
576
0,58464
= 0,585

0,18 · 0,24
72
36
0,0432

0,0432 · 98,6
2592
3456
3888
4,25952
≈ 4,260

5) **Lösung:** 1 m² Brettware 1000 mm hoch (1 m³) kostet 180,— RM.

1 m² Brettware 1 mm hoch $\left(\frac{1}{1000}\,m^3\right)$ kostet $\frac{180}{1000}$

1 m² Brettware 24 mm hoch $\left(\frac{24}{1000}\,m^3\right)$ kostet $\frac{180 \cdot 24}{1000} = 4{,}32$ RM.

1 m² Brettware 24 mm stark muß mit **RM. 4,32** angesetzt werden.

6) **Lösung:** Der Motor muß Eigengewicht und Höchstlast heben, also

$$0{,}85\text{ t} + 1{,}5\text{ t} = 2{,}35\text{ t}$$
$$2{,}35\text{ t} = 2350\text{ kg}$$

So groß muß auch die Kraft sein, also $P = 2350$ kg.
Bei 15 m Aufzugshöhe beträgt die Arbeit

$$A = 2350 \cdot 15$$
$$\approx 35200\text{ kgm}$$

Die Fahrzeit ist 20 s, wir berechnen die Leistung

$$N = \frac{35200}{20}$$
$$= 1760\text{ kgm/s}$$

Wir rechnen auf die PS-Einheit um und nennen die Leistung in PS gemessen N_{PS}:

$$N_{PS} = \frac{1760}{75}$$
$$= 23{,}5\text{ PS}$$

Die Leistung in kW gemessen nennen wir N_{kW}:

$$N_{kW} = \frac{23{,}5}{1{,}36}$$
$$= 17{,}3\text{ kW}$$

Nebenrechnungen:

35200 : 20	1760 : 75 = 23,46	23,5 : 1,36
3520 : 2 = 1760	150 ≈ 23,5	= 2350 : 136 = 17,28
2	260	136 ≈ 17,3
15	225	990
14	350	952
12	300	380
12	500	272
0	450	1080
	50...	1088...

7) **Lösung:** Die Arbeit ist gleich Kraft mal Weg: $A = P \cdot s$. Die Kraft P muß genau so groß sein wie das Gewicht G. Also $P = G$. Das Gewicht ergibt sich aus Rauminhalt mal Wichte des Marmors. $G = V \cdot \gamma$. Der Block stellt ein Prisma mit rechteckiger Grundfläche dar. Sein Rauminhalt ist daher Grundfläche mal Höhe. $V = F \cdot h$.

$$F = 1{,}40 \cdot 0{,}95 \qquad V = 1{,}33 \cdot 0{,}80$$
$$= 1{,}33\text{ m}^2 \qquad = 1{,}064\text{ m}^3$$
$$G = 1{,}064 \cdot 2{,}72$$
$$= 2{,}9\text{ t} = 2900\text{ kg}$$

Da die aufzuwendende Kraft gleich dem Gewicht ist, ist $G = P = 2900$ kg. Jetzt erhalten wir die Arbeit.

$$A = 2900 \cdot 2$$
$$= 5800\text{ kgm}$$

Es ist eine Arbeit von **5800 kgm** aufzuwenden.

Nebenrechnungen: $\underline{1{,}4 \cdot 0{,}95}$ $\underline{1{,}33 \cdot 0{,}8}$ $\underline{1{,}064 \cdot 2{,}72}$

70	1,064	2128
126		7448
1,330		2128
		2,89408 ≈ 2,9

8) Rechnungsgang: Der Kesseldruck von p at kommt einer Förderhöhe von $10 \cdot p$ m gleich. Hinzu kommt noch eine Förderhöhe von 6 m.

Lösung: Die Nutzbarkeit der Pumpe ist:

$$\begin{aligned} A &= 10 \cdot G \cdot p + G \cdot h \\ &= 10 \cdot 540 \cdot 12{,}5 + 540 \cdot 6 \\ &= 67500 + 3240 \\ &= 70740 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Die Nutzarbeit der Pumpe je Stunde beträgt **70740 kgm.**

9) Rechnungsgang: Bei einem Schlag ist die Rammarbeit $A = P \cdot s = G \cdot h$ kgm, bei 10 Schlägen ist sie 10mal so groß, also

$$A = 10 \cdot G \cdot h$$

Lösung: Bei 10 Schlägen ist die Rammarbeit:

$$A = 10 \cdot G \cdot h = 10 \cdot 120 \cdot 5 = 6000 \text{ kgm}$$

Die Arbeit des Rammbären beträgt **6000 kgm.**

10) Rechnungsgang: In 3 Stunden wurden 3960 kg Wasser verbraucht, in einer Stunde demnach der dritte Teil davon. Diese Wassermenge, die wir mit G bezeichnen, wurde von $t_1 = 14°$ C auf $t_2 = 52°$ C, also um $(t_2 - t_1)°$ C erwärmt. Um 1 kg Wasser um 1° C zu erwärmen, braucht man 1 kcal, um 1 kg Wasser um $(t_2 - t_1)°$ in der Temperatur zu erhöhen, werden $(t_2 - t_1)$ kcal benötigt, für G kg daher Gmal soviel, also $G(t_2 - t_1)$ kcal.

Lösung: Die vom Wasser aufgenommene Wärmemenge beträgt:

$$\begin{aligned} Q = G \cdot (t_2 - t_1) &= 1320 \cdot (52 - 14) \\ &= 1320 \cdot 38 \\ &= 50160 \text{ kcal} \end{aligned}$$

Die vom Kühlwasser stündlich aufgenommene Wärmemenge beträgt **50160 kcal.**

11) Rechnungsgang: Die Antriebsmaschine leistet $N = 33$ PS. Wird 1 PS eine Stunde lang geleistet, so ergibt sich eine Arbeit von 1 PSh = 270000 kgm Dem entspricht eine nutzbare Wärmemenge von $\frac{270000}{427} = 632$ kcal. Werden $N = 33$ PS geleistet, so ergibt sich eine Wärmemenge von $N \cdot 632$ kcal. Bei achtstündiger Arbeitsdauer ist die nutzbar gemachte Wärmemenge Q_n 8mal so groß, also $Q_n = 8 \cdot N \cdot 632$. Bei 85% Wärmeverlust werden nur 15% oder $\frac{15}{100}$ der aufgewendeten Wärme Q_n nutzbar gemacht.

Demnach:
$$\frac{15}{100} Q_a = Q_n$$
$$\frac{1}{100} Q_a = \frac{Q_n}{15}$$
$$\frac{100}{100} Q_a = \frac{100 \cdot Q_n}{15}$$
also
$$Q_a = \frac{100 \cdot Q_n}{15}$$

In diese Gleichung ist der oben abgeleistete Wert für Q_n einzusetzen.

Lösung: Die nutzbar gemachte Wärmemenge beträgt

$$Q_n = 8 \cdot 33 \cdot 632 = 166\,848 \text{ kcal}$$

Die aufzuwendende Wärmemenge beträgt

$$Q_a = \frac{100 \cdot Q_n}{15} = \frac{100 \cdot 166848}{15} = 1\,112\,320 \text{ kcal}$$

In 8 Stunden müssen **1112320 kcal** aufgewendet werden.

12) Rechnungsgang: Die Nutzleistung oder abgegebene Leistung des Kranes ergibt sich aus den angegebenen Größen für $P = 10$ t $= 10000$ kg, $s = 4$ m und $t = 25$ s. Daraus kann man N_a errechnen nach der bekannten Formel: $N = \frac{P \cdot s}{t \cdot 75}$ PS. Diesen Wert hat man durch die zugeführte Leistung $N_z = 28$ PS zu teilen.

Lösung: Abgegebene Leistung: $N_a = \frac{P \cdot s}{t \cdot 75} = \frac{10000 \cdot 4}{25 \cdot 75} = \frac{64}{3} = 21{,}33$ PS

Zugeführte Leistung: $N_z = 28$ PS

Wirkungsgrad: $\eta = \frac{N_a}{N_z} = \frac{21{,}33}{28} = 0{,}76$

Der Wirkungsgrad der Krananlage beträgt **$\eta = 0{,}76$.**

Nebenrechnungen:

64 : 3 = 21,33
6
4
3
10
9
10

21,33 : 28 = 0,762 ≈ 0,76
196
173
168
50

13) Rechnungsgang: Der Wirkungsgrad ist gleich dem Bruch, der sich ergibt, wenn man die an der Riemenscheibe abgegebene mechanische Leistung durch die hineingeschickte elektrische Leistung teilt, also $\eta = \frac{N_a}{N_z}$. Hierzu muß man zunächst die Einheit PS in kW verwandeln.

Lösung: a) Für Vollast:

$$1 \text{ PS} = 0{,}736 \text{ kW}$$
$$10 \text{ PS} = 7{,}36 \text{ kW}$$

Wirkungsgrad: $\eta = \frac{N_a}{N_z} = \frac{7{,}36}{9} = 0{,}82$

b) Für Halblast:

$$1\ \text{PS} = 0{,}736\ \text{kW}$$

$$5\ \text{PS} = 3{,}68\ \text{kW}$$

Wirkungsgrad: $\eta = \frac{N_a}{N_z} = \frac{3{,}68}{4{,}9} = 0{,}75$

Die Wirkungsgrade betragen: für Vollast **$\eta = 0{,}82$,** für Halblast **$\eta = 0{,}75$.**

Nebenrechnungen: 7,36 : 9 = 0,8177 ≈ 0,82 36,8 : 49 = 0,751 ≈ 0,75

```
7,36 : 9 = 0,8177 ≈ 0,82      36,8 : 49 = 0,751 ≈ 0,75
7 2                           34 3
  16                           2 50
   9                           2 45
   70                            50
   63
    70
```

14) Rechnungsgang: Die Längenausdehnungszahl α gibt an, um wieviel m sich ein Körper von 1 m Länge bei einer Temperaturerhöhung um 1° C ausdehnt. Beträgt seine Länge $l = 25$ m, so ist seine Verlängerung $l$mal so groß bei einer Temperaturerhöhung um 1 °C. Bei Erwärmung um $t = t_2 - t_1 = (350 - 20)$ °C steigt die Verlängerung auf den t-fachen Betrag, also Verlängerung $\lambda = l \cdot \alpha \cdot t$.

Lösung: $\lambda = l \cdot a \cdot t = 25 \cdot 0{,}000012 \cdot (350 - 20) = 25 \cdot 0{,}000012 \cdot 330$
$= 0{,}099\ \text{m} = 99\ \text{mm}$

Das Dampfrohr dehnt sich um **99 mm** aus.

15) Rechnungsgang: Der Temperaturunterschied beträgt im ersten Falle (bei $-30°$ C) $t = 30 + 20 = 50°$ C. Es tritt eine Verkürzung ein von $\lambda = l_1 \cdot a \cdot t$ m. Diesen Wert hat man von der ursprünglichen Länge $l_1 = 110$ m abzuziehen. Es ist $l_2 = l_1 - l_1 \cdot \alpha \cdot t$.
Im zweiten Fall hat man die Verlängerung, die der Draht durch Erwärmung von 20° C auf 35° C erfährt, zu der ursprünglichen Länge hinzuzuzählen. Es ist $l_2 = l_1 + l_1 \cdot \alpha \cdot t$. Der Temperaturunterschied ist hier $t = 35 - 20 = 15$ °C.

Lösung: Fall 1: Ursprüngliche Länge $l_1 = 110{,}000$ m
Verkürzung:
$\lambda = l_1 \cdot \alpha \cdot t = 110 \cdot 0{,}000024 \cdot 50 = 0{,}132$ m
Länge nach der Abkühlung
$l_2 = l_1 - l_1 \cdot \alpha \cdot t = 109{,}868\ \text{m} \approx 109{,}87$ m

Die Länge der Drähte beträgt bei $-30°$ C **109,87 m.**

Fall 2: Ursprüngliche Länge: $l_1 = 110{,}0000$ m
Verlängerung:
$\lambda = l_1 \cdot \alpha \cdot t = 110 \cdot 0{,}000024 \cdot 15 = 0{,}0396$ m
Länge nach Erwärmung $l_2 = 110{,}0396\ \text{m} \approx 110{,}04$ m

Die Länge der Drähte beträgt bei $+35°$ C **110,04 m.**

Nebenrechnungen:

```
0,000024 · 110     0,00264 · 50     0,00264 · 15
      240          0,13200               1320
       24                                 264
 0,002640                             0,03960
```

16) **Rechnungsgang:** Der Temperaturunterschied beträgt $t = t_2 - t_1 = (32 - 5)°$ C. Da $V_1 = 5000\,l$ und $\gamma = 0{,}00124$ bekannt sind, kann man die Raumvergrößerung $V_1 \cdot \gamma \cdot t$ berechnen. Der Rauminhalt V_2 bei $t_2 = 32°$C ergibt sich durch Hinzuzählen des errechneten Wertes.

Lösung: Rauminhalt bei 5° C: V_1 $= 5000{,}0\,l$
Raumvergrößerung: $V_1 \cdot \gamma \cdot t = 5000 \cdot 0{,}00124 \cdot 27 = 167{,}4\,l$
Rauminhalt bei 32° C: $V_2 = V_1 + V_1 \cdot \gamma \cdot t$ $= 5167{,}4\,l$

Der Rauminhalt der Benzolmenge beträgt bei 32° C **5167,4 *l*.**

17) **Rechnungsgang:** Die Raumverkleinerung ist gleich $V_1 \cdot \gamma \cdot t$. V_1 und γ sind bekannt. Der Temperaturunterschied ergibt sich zu $t = (28 - 2)°$ C.

Lösung: $V_1 \cdot \gamma \cdot t = 4200 \cdot 0{,}00092 \cdot (28 - 2)$
$= 4200 \cdot 0{,}00092 \cdot 26 = 100{,}5\,l$

Der Rauminhalt wird um **100,5 *l*** kleiner.

18) **Rechnungsgang:** Die absolute Temperatur T ergibt sich aus der Temperatur t dadurch, daß man zu t die Zahl 273 hinzuzählt, also $T = t + 273$.

Lösung:
a) $t = 357°$ C; $T = 357 + 273 = 630°$ abs.
b) $t = -78{,}5°$ C; $T = -78{,}5 + 273 = 194{,}5°$ C abs.
c) $t = 1372°$ C; $T = 1372 + 273 = 1645°$ abs.
d) $t = -183°$ C; $T = -183 + 273 = 90°$ abs.

19) **Rechnungsgang:** Da die Luft bei der Erwärmung unter gleichbleibendem Druck steht, gilt das Gesetz von Gay-Lussac. Es ist also $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$; T_1 und T_2 lassen sich aus $t_1 = 17°$ C und $t_2 = 800°$ C errechnen, $V_1 = 42000$ m³ ist bekannt. V_2 läßt sich daher berechnen. Es ist $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$, also auch $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$

$$\frac{V_2 \cdot V_1}{V_1} = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1}$$

Lösung: $V_1 = 42000\text{ m}^3$; $T_1 = t_1 + 273 = 17 + 273 = 290°$ abs.
$T_2 = t_2 + 273 = 800 + 273 = 1073°$ abs.

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{42000 \cdot 1073}{290} = 155\,400\text{ m}^3$$

Der Rauminhalt der stündlich gelieferten erhitzten Luft beträgt **155400 m³.**

Nebenrechnungen:

```
1073 · 42000        45066000 : 290 = 155400
 2146               290
4292                1606
45066000            1450
                     1566
                     1450
                      1160
                      1160
                        00
```

20) **Lösung:** $1\ kg/cm^2 = 735{,}5$ mm QS

$0{,}74\ kg/cm^2 = 0{,}74 \cdot 735{,}5 = 544{,}3$ mm QS

Der Luftdruck beträgt **544,3 mm QS**

21) **Lösung:** Es ist $b = \frac{h}{735{,}5} = \frac{620}{735{,}5} \approx 0{,}843\ kg/cm^2$

Der Luftdruck beträgt **0,84 kg/cm²**.

22) **Rechnungsgang:** Um den Gesamtdruck auf 2,4 m² zu ermitteln, hat man zunächst den Luftdruck auf 1 cm² zu berechnen (in kg/cm²). Da $1\ m^2 = 100 \cdot 100 = 10000\ cm^2$ ist, so sind $2{,}4\ m^2 = 2{,}4 \cdot 10000 = 24000\ cm^2$. Mit diesem Wert hat man den Druck pro cm² malzunehmen.

Lösung: Es ist $b = \frac{h}{735{,}5} = \frac{690}{735{,}5} \approx 0{,}94\ kg/cm^2$

Der Druck auf 2,4 m² ist $P = 24000 \cdot 0{,}94 =$ **22560 kg.**

23) **Rechnungsgang:** Vor der Verdichtung hat die Luft einen Unterdruck $p_u = 0{,}1$ atu. Der absolute Druck p_a ergibt sich also, indem man p_u von dem Barometerstand b abzieht. Es ist $p_a = b - p_u$.

Nach der Verdichtung steht sie unter einem Überdruck $p_ü = 10{,}3$ atü, daher gilt: $p_a = b + p_ü$.

Vorher hat man den in mm QS gemessenen Luftdruck in ata umzurechnen. Es ist $b = \frac{h}{735{,}5}$ ata.

Lösung: Es ist $b = \frac{h}{735{,}5} = \frac{659}{735{,}5} = 0{,}896$

Vor der Verdichtung: $p_a = b - p_u = 0{,}896 - 0{,}1 = 0{,}796$ ata $\approx 0{,}8$ ata

Nach der Verdichtung: $p_a = b + p_ü = 0{,}896 + 10{,}3 = 11{,}196$ ata $\approx 11{,}2$ ata

Die absoluten Drücke der Luft betragen:

Vor der Verdichtung: 0,8 ata

Nach der Verdichtung: 11,2 ata

24) Es ist: 10000 mm WS = 1 at

$$1 \text{ mm WS} = \frac{1}{10000} \text{ at}$$

$$140 \text{ mm WS} = \frac{140}{10000} = 0{,}0140 \text{ at}$$

Umrechnung des Luftdruckes in ata ergibt:

$$b = \frac{h}{735{,}5} = \frac{690}{735{,}5} = 0{,}938 \text{ ata}$$

$$p_a = b + p_ü = 0{,}938 + 0{,}014 = 0{,}952 \text{ ata}$$

Der absolute Druck im Gefäß beträgt **0,952 ata.**

25) Rechnungsgang: Der absolute Druck p_a ist gleich dem Überdruck $p_ü$, vermehrt um den Luftdruck b. Sucht man also den Überdruck aus dem absoluten Druck, so hat man von diesem den Luftdruck abzuziehen. Es ist also $p_ü = p_a - b$.

Lösung: $b = \frac{h}{735{,}5} = \frac{780}{735{,}5} = 1{,}06$

Überdruck $p_ü = 8{,}35 - 1{,}06 = 7{,}29$ atü.

Der Überdruck beträgt **7,29 atü.**

26) Rechnungsgang: Zu a) Da offene Flüssigkeitsmanometer den Überdruck anzeigen, hat man zur Errechnung des absoluten Druckes zum Überdruck den Luftdruck hinzuzuzählen. Es ist also $h_a = h_ü + h$. Da beide Drücke in mm QS angegeben sind, kann man sie ohne Umrechnung zusammenzählen. Zu b) Den in mm QS gemessenen Überdruck rechnet man in atü um, indem man ihn durch 735,5 teilt; denn es ist:

$$735{,}5 \text{ mm QS} = 1 \text{ at}$$

$$1 \text{ mm QS} = \frac{1}{735{,}5} \text{ at}$$

$$125 \text{ mm QS} = \frac{125}{735{,}5} \text{ at, also } p_ü = \frac{h_ü}{735{,}5} \text{ at}$$

Zu c) Der absolute Druck p_a ist gleich dem Überdruck $p_ü$ vermehrt um den Barometerstand b. Den in mm QS gemessenen Luftdruck hat man vorher in at umzurechnen, es ist $b = \frac{h}{735{,}5}$ at.

Lösung: Zu a) $h_a = h_ü + h = 125 + 765 = 890$ mm QS

Der absolute Druck beträgt **890 mm QS**

Zu b) $p_ü = \frac{h_ü}{735{,}5} = \frac{125}{735{,}5} \approx 0{,}17$ atü

Der Überdruck beträgt **0,17 atü.**

Zu c) Barometerstand in at: $b = \frac{h}{735{,}5} = \frac{765}{735{,}5} \approx 1{,}04$ at

$p_ü$ ist unter b) zu 0,17 atü errechnet.

Absoluter Druck $p_a = b + p_ü = 1{,}04 + 0{,}17 = 1{,}21$ ata

Der absolute Druck beträgt **1,21 ata.**

27) Rechnungsgang: Drücke, die mit einer beliebigen Flüssigkeit gemessen sind, werden in mm WS umgerechnet, indem man sie mit der Wichte der Flüssigkeit malnimmt. Die Wichte von Petroleum ist bekannt: $\gamma = 0{,}8$.

Lösung: Der Überdruck unter dem Rost ist $h_ü = \gamma \cdot 40 = 0{,}8 \cdot 40$ = **32 mm WS**

Der Unterdruck am Kesselende ist $h_u = \gamma \cdot 30 = 0{,}8 \cdot 30$ = **24 mm WS**

Lösungen zu den Übungsaufgaben aus dem technischen Zeichnen

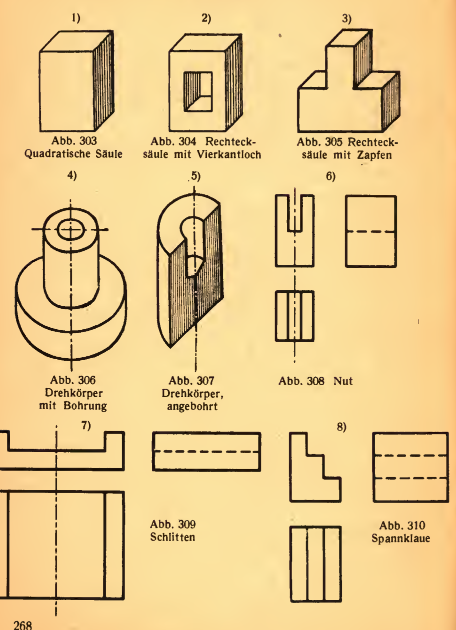


Abb. 303 Quadratische Säule

Abb. 304 Rechtecksäule mit Vierkantloch

Abb. 305 Rechtecksäule mit Zapfen

Abb. 306 Drehkörper mit Bohrung

Abb. 307 Drehkörper, angebohrt

Abb. 308 Nut

Abb. 309 Schlitten

Abb. 310 Spannklaue

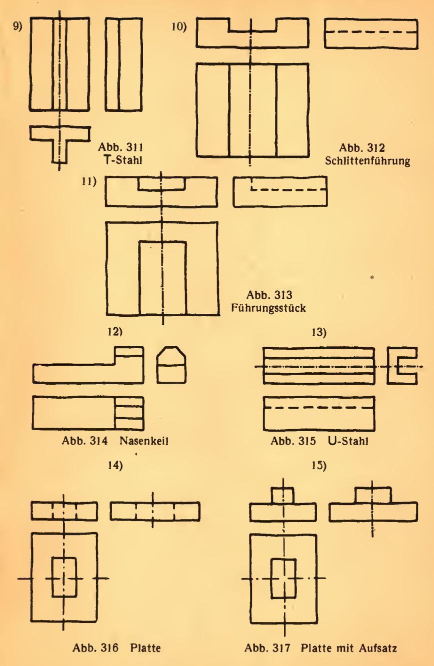


Abb. 311 T-Stahl

Abb. 312 Schlittenführung

Abb. 313 Führungsstück

Abb. 314 Nasenkeil

Abb. 315 U-Stahl

Abb. 316 Platte

Abb. 317 Platte mit Aufsatz

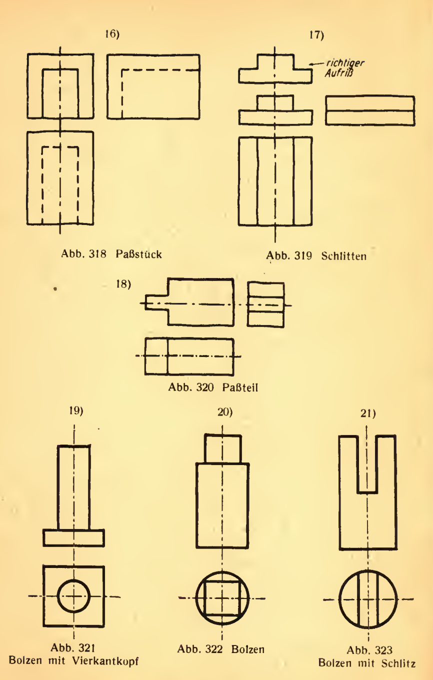


Abb. 318 Paßstück

Abb. 319 Schlitten

Abb. 320 Paßteil

Abb. 321
Bolzen mit Vierkantkopf

Abb. 322 Bolzen

Abb. 323
Bolzen mit Schlitz

22)

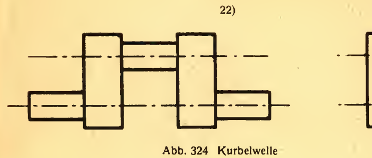
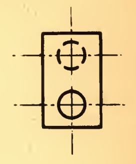



Abb. 324 Kurbelwelle

23)

Abb. 325 Klemmplatte

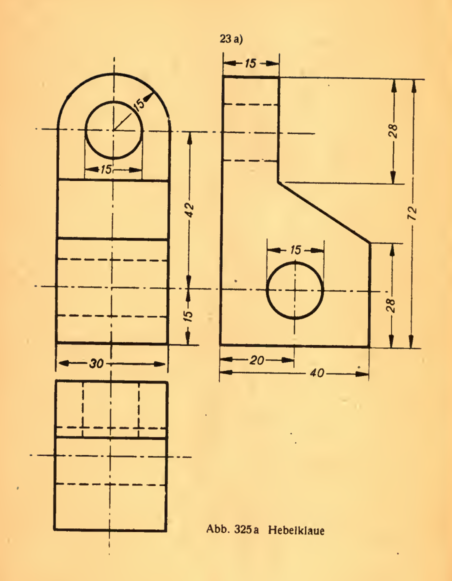


Abb. 325a Hebelklaue

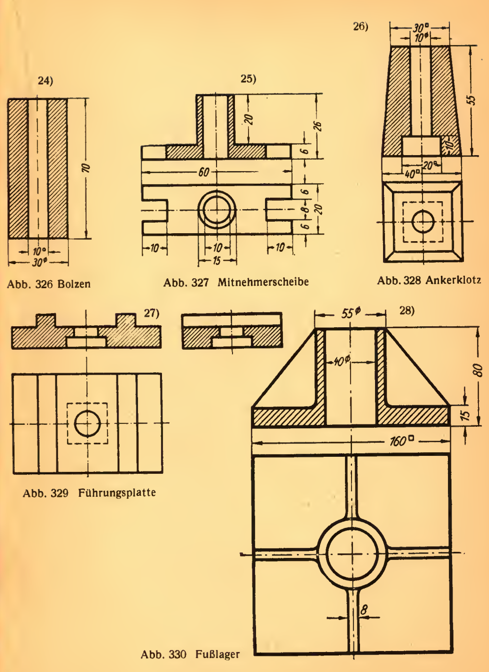


Abb. 326 Bolzen

Abb. 327 Mitnehmerscheibe

Abb. 328 Ankerklotz

Abb. 329 Führungsplatte

Abb. 330 Fußlager

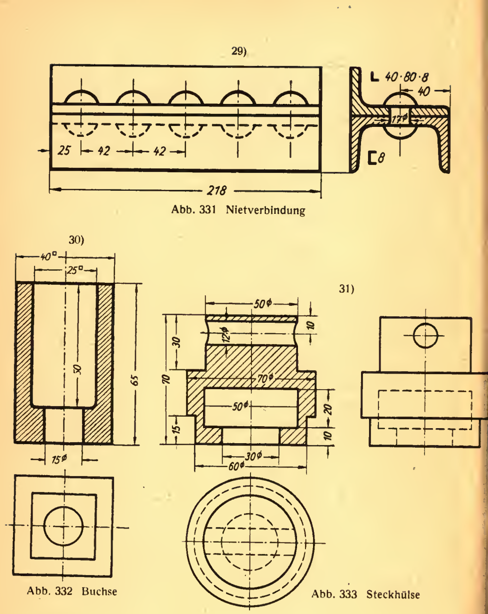


Abb. 331 Nietverbindung

Abb. 332 Buchse

Abb. 333 Steckhülse

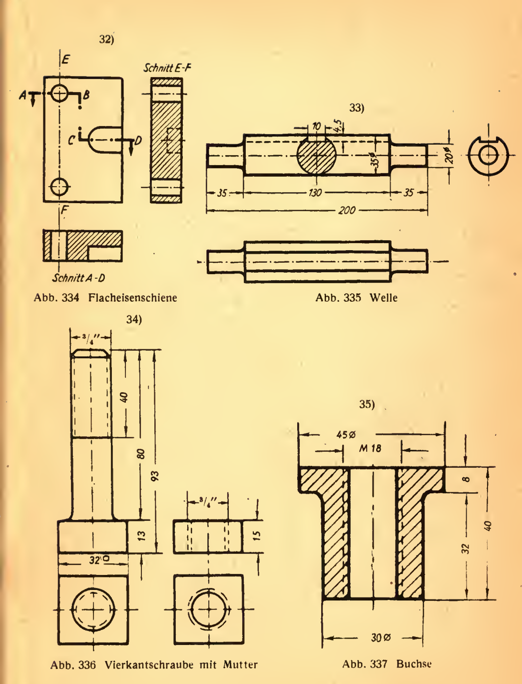


Abb. 334 Flacheisenschiene

Abb. 335 Welle

Abb. 336 Vierkantschraube mit Mutter

Abb. 337 Buchse

36)

37)

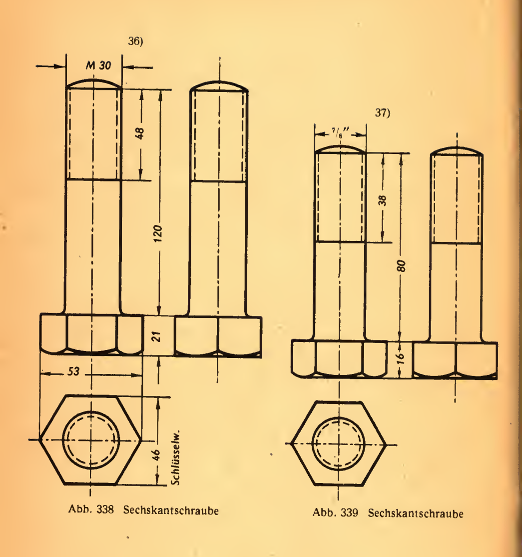
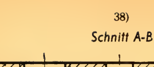


Abb. 338 Sechskantschraube

Abb. 339 Sechskantschraube

38)



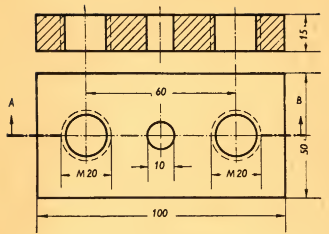


Abb. 340 Stahlplatte

39)

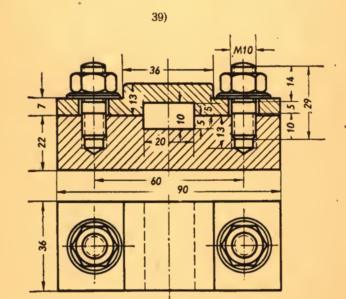
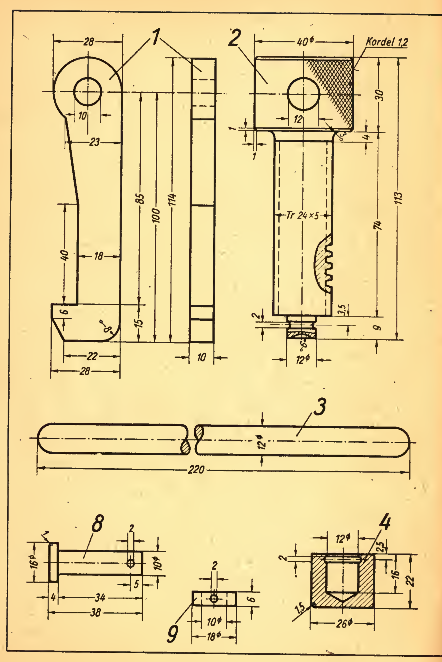
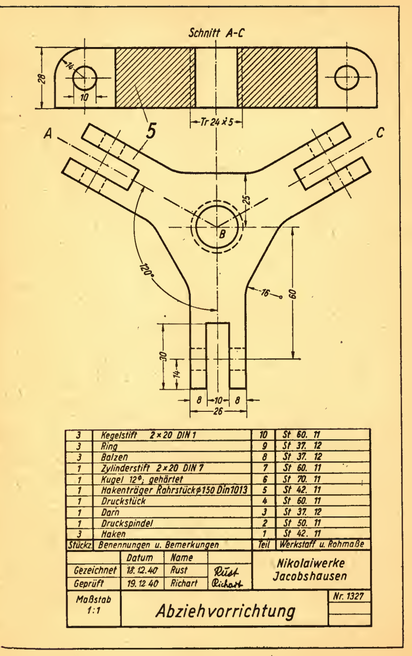


Abb. 341 Spannvorrichtung



1
2
3
4
8
9
Kordel 1,2
Tr 24×5
28
10
23
40
18
85
100
114
15
6
22
10
40ϕ
12
30
4
113
74
3,5
9
2
1
12ϕ
220
12ϕ
16ϕ
10ϕ
5
34
38
18ϕ
26ϕ
16
22
2,5
1,5



Stückz.	Benennungen u. Bemerkungen	Teil	Werkstoff u. Rohmaße
3	Kegelstift 2×20 DIN 1	10	St 60. 11
3	Ring	9	St 37. 12
3	Bolzen	8	St 37. 12
1	Zylinderstift 2×20 DIN 7	7	St 60. 11
1	Kugel 12⌀; gehärtet	6	St 70. 11
1	Hakenträger Rohrstück⌀150 Din1013	5	St 42. 11
1	Druckstück	4	St 60. 11
1	Dorn	3	St 37. 12
1	Druckspindel	2	St 50. 11
3	Haken	1	St 42. 11

	Datum	Name		
Gezeichnet	18.12.40	Rust	Rust	Nikolaiwerke Jacobshausen
Geprüft	19.12.40	Richart	Richart	
Maßstab 1:1	Abziehvorrichtung			Nr. 1327

40) Auf S. 278 und 279 sehen Sie die verkleinerte Wiedergabe einer im Maßstab 1 : 1 gefertigten Werkzeichnung der Einzelteile der auf Seite 226 besprochenen Abziehvorrichtung. Verkleinerungsmaßstab ist 1 : 1,8.

Zur Darstellung des Hakenträgers (Teil 5) benötigen wir zwei Risse: den Grundriß und den Aufriß. Um im Aufriß das Gewinde und die Aussparungen der Arme sichtbar zu machen, denken wir uns durch den Hakenträger den Schnitt *A—B—C* gelegt. Würden wir nun den Aufriß in der gewohnten Weise so zeichnen, daß die Kanten 1, 2, 3 genau senkrecht über den zugehörigen Punkten des Grundrisses liegen (durch dünne Leitlinien in Abb. 342 angedeutet), so würden wir ein verzerrtes Bild von den Armen erhalten. Dies ist unzweckmäßig. Wir denken uns daher die Arme *AB* und *BC* in die Zeichenebene (also um 30° nach vorn) gedreht und zeichnen nunmehr den Aufriß. Die Kanten und Kreise erscheinen dann unverkürzt in ihrer wahren Größe. Den auf diese Art gezeichneten Aufriß sehen Sie in der Werkzeichnung auf S. 279. Ein Irrtum über die Lage der Arme kann nicht entstehen, weil die Stellung der Arme zueinander aus dem Grundriß klar hervorgeht.

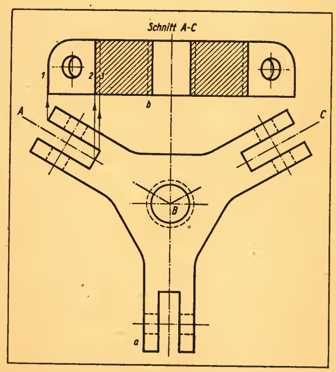


Abb. 342 Hakenträger

BÜCHER FÜR DIE WEITERBILDUNG

Arbeitsgemeinschaftsleitern und Kameraden, die ihre in den Soldatenbriefen erworbenen Kenntnisse vertiefen und erweitern wollen, werden folgende Fachbücher vorgeschlagen:

Dampfkessel von H. Netz. Verlag Teubner, Leipzig und Berlin.

Der Kesselwärter von H. Huppmann und G. Zeller. Verlag Oldenbourg, München und Berlin.

Die Heizerschule von F. O. Morgner. Verlag Springer, Berlin.

Lehrbuch der mechanischen Technologie der Maschinenbaustoffe von H. Meyer. Verlag Jänecke, Leipzig.

Das Technische Rechnen von Rode. 3 Bde. DAF.-Verlag, Berlin.

Technisches Rechnen und seine Hilfsmittel von Eugen Mayer-Sidd. 3 Bde. Verlag Roth u. Co., Berlin.

Allgemeines Rechnen und Fachrechnen von Eugen Mayer-Sidd. Unterstufe, Mittelstufe, Oberstufe, desgleichen Längen-, Flächen-, Körper- und Gewichtsberechnungen. Verlag Roth u. Co., Berlin.

Rechenbuch für Maschinenbauer und verwandte Berufe von Uhrmann und Schuth. Verlag Teubner, Berlin und Leipzig.

Lehrbuch der Physik von Kleiber-Karsten. Verlag Oldenbourg. München und Berlin.

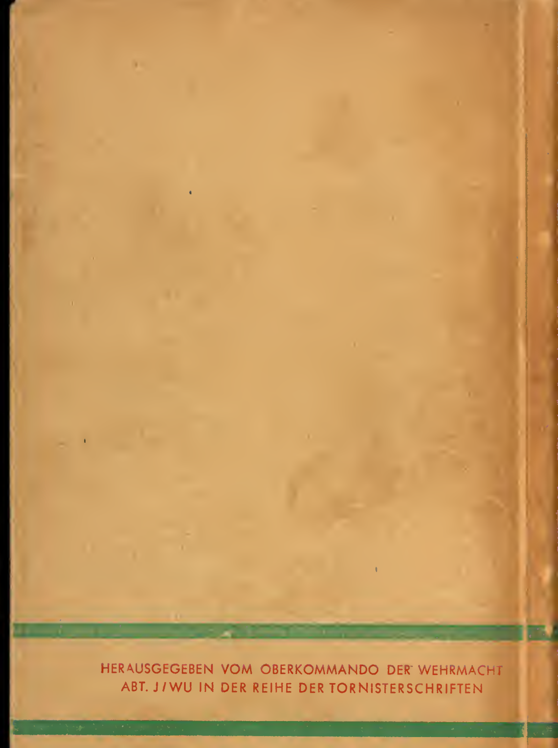
Physik für technische Lehranstalten von Schmiedel und Süß. Verlag Klinkhardt, Leipzig.

Technische Physik von Wiegner und Stephan. Verlag Teubner, Leipzig und Berlin.

Der Große Duden, Rechtschreibung der deutschen Sprache und der Fremdwörter, bearbeitet von Dr. Otto Basler, Verlag Bibliographisches Institut AG., Leipzig, 12. Aufl. 1941. 767 Seiten. RM. 4.—.

Weitere fachkundliche Bücher nennt Ihnen die vom Oberkommando der Wehrmacht in der Reihe der Tornisterschriften herausgegebene Fachbuchliste, die durch die Einheiten kostenlos angefordert werden kann.

Druck: Bibliographisches Institut AG. in Leipzig


HERAUSGEGEBEN VOM OBERKOMMANDO DER WEHRMACHT
ABT. J/WU IN DER REIHE DER TORNISTERSCHRIFTEN